

22551/H/05



BILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

TUGAS AKHIR (KP 1701)

SIMULASI DAN ANALISA PERILAKU MANEUVERING KAPAL



RS Pe
623.88
Sd
5-1
2004

Disusun Oleh :

SIGIT PURNAMA SIDHI
NRP. 4199 100 511

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	1-12-2004
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	221225

**JURUSAN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2004**

LEMBAR PENGESAHAN

SIMULASI DAN ANALISA PERILAKU

MANEUVERING KAPAL

TUGAS AKHIR

(KP 1701)

Diajukan guna memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Perkapalan

Pada

Bidang Studi Hidrodinamika

Jurusan Teknik Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

Surabaya, Agustus 2004

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing I



Ir. MURDIJANTO, M.Eng
NIP. 130332 625

Dosen Pembimbing II



Ir. ARIFIN, M.T
NIP. 680002895



KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur ke hadirat Alloh SWT, atas berkat rahmat, hidayah dan kemurahan-Nya, serta hormat dan salam kepada jujungan kita Nabi besar Muhammad SAW yang mana akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul :

“SIMULASI DAN ANALISA PERILAKU MENEUVERING KAPAL”.

Dengan ini, penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya terhadap semua pihak yang telah membantu dan berperan dalam penyelesaian tugas akhir ini yakni kepada :

1. Bapak, Ibu Thamrin Budy Susilo, Adikku Danang dan Yoyon di rumah, yang selalu memberikan semangat dan doa, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Adikku tercinta Nur Aisyah Indraswati, terima kasih atas do'a dan sholat tahajudnya yang ikhlas untuk kakak, kakak tetap sayaang sama adik manis.
3. Bapak Ir. Murdijanto, M.Eng, selaku dosen pembimbing I tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan yang sangat berharga selama pengerjaan tugas akhir.
4. Bapak Ir. Arifin, M.T, selaku dosen pembimbing II tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan dan masukan yang sangat berharga selama pengerjaan tugas akhir.

5. Bapak Ir. IKA Pria Utama, M.Sc, Ph.D, selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan masukan yang sangat berharga selama pengerjaan tugas akhir ini, terima kasih pula atas fasilitas Laboratorium Hidrodinamika yang telah diberikan berikut diskusinya yang menarik.
6. Prof. Dr. Kuniji Kose yang telah memberikan inspirasi bagi penulis untuk mempelajari maneuvering kapal, terima kasih pula atas nasehat dan kesempatan yang telah *Dai Sensai* berikan kepada saya dengan mengajak penulis mengunjungi Towing Tank Dept. Naval Architecture and Ocean Engineering, Faculty of Engineering, Hiroshima University.
7. Bapak Dr.Ir. Odok Samudro, M.Eng selaku Kepala UPT. Laboratorium Hidrodinamika Indonesia BPPT yang telah memberikan advice dan kemudahan, terima kasih pula atas bantuan dan bimbingan serta nasehat yang tidak akan pernah terlupa yang telah Bapak berikan selama penulis tinggal di Hiroshima-Japan.
8. Bapak Ir. Triwilaswandio, W.P., M.Sc dan Bapak Dr.Ir. Wasis Dwi Aryawan, M.Sc selaku Ketua Jurusan dan Sekretaris Jurusan Teknik Perkapalan serta Bapak Sudiono selaku kepala tata usaha Jurusan Teknik Perkapalan.
9. Rekan-rekan Perkapalan dari angkatan yang paling tua hingga yang yang paling muda Nahason, Widi, Yusuf, Binti, Ja'far, Yasin, Momon, Sigit, Guslan, Iwan, Izudin, Ambar, Ivan, Habibie, Agung, Giri, Hasyim, Aleik, Andi, Anang, Fajar, Hadi, Andre, Sulton, Yanto, Hasibuan dan arek-arek *Team Maritime Challenge 04* dan rekan-rekan lain yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu atas dukungan yang tak ternilai harganya.

10. Arek-arek SB 94 dan Kapal LJ 99, Karsono *Putra Ronggolawe*, Ririk *Cimo dari Baluran*, Harto *mas tio mbanyuoerip*, *Sang Jendral Besar* Karnandi, Darji *si animal instinc*, Santoso *asli pa palsu*, Deni *Big*, Gaguk *Ambon*, Siswanto.
11. Rekan-rekan Gebang Wetan 21 A, Anto', *Y²*, *Canopi*, *Dwi* Cepoe Merdeka, *Fitrah*, *Yupi*, Soekir *soegeng*, Lukman, *Seprio*, Robin, Flando, *Dodik*, dan rekan-rekan lain yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu atas dukungan yang tak ternilai harganya.
12. Semua pihak yang membantu penyelesaian tugas akhir dan studi yang panjang di Perkapalan ini, yang tidak dapat disebutkan satu persatu. *Thank's for All*

"Jalesveva Jaya Mahe, Di laut Kita Jaya!!!!"

Penulis menyadari bahwa penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak. Amin.

Surabaya, Agustus 2004

Penulis



Nama : Sigit Purnama Sidhi
NRP : 4199.100.511
Dosen Pembimbing : Ir. Murdijanto, M.Eng
: Ir. Arifin, M.T
Judul :

Simulasi dan Analisa Perilaku Maneuvering Kapal

ABSTRAK

Simulasi ini ditujukan untuk menghasilkan output program yang dapat menggambarkan karakteristik perilaku maneuvering kapal yang dapat dianalisa dan dikaji untuk menentukan tingkat keselamatan dan keamanan kapal utamanya saat melakukan gerakan maneuver pada kondisi perairan terbatas seperti halnya kolam pelabuhan, alur-alur sungai, muara, terusan, kanal dan lain sebagainya. Simulasi dan analisa lebih dititik beratkan terhadap pengujian zigzag maneuver dimana acuan yang digunakan sesuai dengan bentuk dan prosedur pengujian maneuvering yang direkomendasikan oleh International Maritime Organization (IMO) Resolusi MSC. 137 (76) annex 6 tanggal 4 Desember 2002.

Dalam simulasi ini kita memerlukan harga-harga turunan hidrodinamik yang diperoleh sebelumnya dari percobaan captive model test di tangki percobaan dengan kondisi awal dan kedalaman perairan yang telah ditentukan. Dari hasil simulasi akan didapatkan data time history dari gerakan zigzag maneuver untuk defleksi sudut kemudi tertentu yakni antara lain perubahan sudut kemudi dari kedudukan awal sampai dengan kedudukan ordered angle, perubahan sudut heading, perubahan kecepatan yawing, perubahan percepatan, perubahan drift angle, perubahan posisi kapal searah sumbu x bumi, perubahan posisi kapal searah sumbu y bumi, perubahan gaya normal yang bekerja pada kemudi, perubahan thrust propeller.

Dari hasil analisis menunjukan bahwa sudut overshoot akan bertambah besar jika kecepatan kapal bertambah, kapal dengan sudut overshoot yang kecil memiliki karakter lebih cepat menyelesaikan gerakan zigzag maneuver dikarenakan index stabilitasnya kecil, time overshoot akan menjadi semakin lama seiring dengan kenaikan kecepatan kapal hal ini karena dipengaruhi oleh rudder rate, pada harga K' yang besar menunjukan efektifitas kemudi yang baik atau dengan kata lain kapal sangat responsif terhadap perubahan sudut kemudi, perbandingan index stability terhadap courseability sangat menentukan karakter kapal dimana perbandingan yang negatif menunjukan karakter kapal yang tidak stabil.

Kata kunci : zigzag maneuver, sudut overshoot, time overshoot, sudut heading, koefisien hidrodinamik



Name : Sigit Purnama Sidhi
NRP : 4199.100.511
Advisor : Ir. Murdijanto, M.Eng
 : Ir. Arifin, M.T
Title :

Simulation and Analysis of Ship Maneuvering Behavior

ABSTRACT

The safety assessment for ship maneuverability that operated as feeder through open sea, strait and several inland fairways or restricted channel as look as rivers, canal and estuaries in her routes were obtained by numerical approach with using computer simulation programming. The common standard of ship maneuvering according to the International Maritime Organization (IMO) are consist three types but only two kind of test that would be simulated here, these numerical simulation that are Zigzag maneuver test, Turning Circle test and then an analysis will be conducted to the simulation result particularly for Zigzag maneuver test.

In order to obtain the simulation result, we need several hydrodynamic derivatives from captive model test for each ship model with her owns initial condition and water depth. We were choose three kind of ship as the model, as long as the function and job mission of these ship, we pledge a great interest in order to explore the characteristic and behavior respond of maneuverability under changing of dependent variables input like rudder angle deflection, increasing or decreasing of propeller's rpm, advance velocity of ship, environmental condition of location the present maneuvers for example deep sea, shallow water or the other restricted waterways like channel etc. From the analysis result shows that overshoot angle will be increased as the increasing of the ship velocity, the zigzag trajectory will be done quickly for the ship with a small of overshoot angle because she has the small of index stability characteristic, time overshoot will be too long as the increasing of the ship velocity because affected by rudder rate. The highly of K' index means that the ship very responsive to rudder deflection angle.

With the deal we can predict and find out more routes, harbor and piers that can be covered by these ship's except her default routes beforehand without loss her comfort and safety and also we can predict the characteristic behavior of the maneuvering ability of these ship's when she has been receive the ordered maneuver from wheel house in restricted waterways like harbor.

Key word : zigzag maneuver, overshoot angle, time overshoot, heading angle, hydrodynamic derivatives



DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Lembar Pengesahan.....	ii
Kata Pengantar	iii
Abstrak	v
Daftar Isi.....	viii
Daftar Tabel.....	xi
Daftar Gambar.....	xii
Daftar Notasi	xiii

BAB I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang.....	I-1
I.2. Perumusan Masalah.....	I-3
I.3. Batasan Masalah.....	I-3
I.4. Tujuan Penelitian	I-4
I.5. Manfaat Penelitian	I-5
I.6. Metodologi Penelitian	I-6
I.6.1 Kerangka Metodologi Penelitian	I-7
I.6.2 Identifikasi Masalah	I-8
I.6.3 Penetapan Tujuan Penulisan	I-9
I.6.4 Studi Pendahuluan.....	I-9
I.6.5 Studi Pustaka	I-10
I.6.6 Spesifikasi Model.....	I-10

I.6.7	Pengumpulan Data	I-11
I.6.8	Pengolahan Data.....	I-11
I.6.9	Pembuatan Model Analitis	I-12
I.6.10	Analisis Simulasi.....	I-13
I.6.11	Pola Alternatif Operasional.....	I-14
I.6.12	Kesimpulan.....	I-15

BAB II DASAR TEORI

II.1	Pendahuluan	II-1
II.2	Persamaan Linear Bidang Horisontal	II-4
II.2.1	Stabilitas Arah Lurus Maju Kapal.....	II-12
II.2.2	Stabilitas Arah Belok Kapal.....	II-13
II.3	Aspek Non Linear.....	II-12

BAB III DATA INPUT DAN SKEMA SIMULASI

III.1	Klasifikasi Data dan Fungsinya	III-8
III.2	Persiapan Data Input.....	III-11
III.3.1	Data Karakteristik Lambung Kapal.....	III.13
III.3.2	Data Koefisien Turunan Hidrodinamik.....	III-13
III.3.3	Data Karakteristik Propeller.....	III-15
III.3.4	Data Open Water Characteristic.....	III-16
III.3.5	Data Karakteristik Daun Kemudi	III-18
III.4	Data Hasil Output Program	III-19
III.5	Uji t Test.....	III-19
III.6	Skema Diagram Alir Simulasi.....	III-20

BAB IV ANALISIS DATA DAN SIMULASI

IV.1 Standard Maneuverability	IV-1
IV.2 Running Model Simulasi.....	IV-4
IV.3 Validasi.....	IV-7
IV.4 Analisa Hasil Simulasi	IV-10
IV.4.1 Sudut Overshoot.....	IV-11
IV.4.3 Validasi Model Real Operasional	IV-25
IV.4.4 Running Model Simulasi.....	IV-29
IV.4.5 Waktu Overshoot.....	IV-14
IV.4.6 Gaya Normal Kemudi.....	IV-17
IV.4.7 Pengaruh Perubahan Thrust Propeller.....	IV-20
IV.5 Hasil Analisa	IV.23

BAB V KESIMPULAN

V.1 Kesimpulan.....	V-1
V.2 Saran.....	V-3

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel III.3.1. Data Karakteristik Lambung Kapal.....	III-12
Tabel III.3.2. Data Koefisien Turunan Hidrodinamik.....	III-13
Tabel III.3.3. Data Karakteristik Propeller.....	III-15
Tabel III.3.4. Data Open Water Characteristic.....	III-16
Tabel III.3.5. Data Karakteristik Daun Kemudi.....	III-18
Tabel IV.1. Tabel t Test Sudut Heading.....	III-8
Tabel IV.2. Tabel t Test Sudut Yawing	III-9

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Diagram sistem kontrol	II-3
Gambar 2.2. Sumbu koordinat gerakan meneuver kapal	II-25
Gambar 2.3. Stabilitas arah kapal	II-12
Gambar 2.4. Time history gerakan belok pad zigzag maneuver	II-14
Gambar 2.5. Resultan gaya dan momen.....	II-16
Gambar 2.6. Time history gerakan belok	II-29
Gambar 2.7. Pengaruh gaya sway.....	II-21
Gambar 2.8. Sudut roll saat belok	II-22
Gambar 2.9. Rasio kemampuan belok terhadap koefisien blok.....	II-21
Gambar 3.1. Sistem koordinat gerakan maneuver kapal.....	II-21
Grafik IV.1. Sudut Overshoot Pertama PCC.....	IV-12
Grafik IV.2. Sudut Overshoot Pertama RR-742.....	IV-13
Grafik IV.3. Sudut Overshoot Pertama SR-108	IV-13
Grafik IV.4. Time Overshoot Pertama PCC.....	IV-15
Grafik IV.5. Time Overshoot Pertama RR-742.....	IV-16
Grafik IV.6. Time Overshoot Pertama SR-108	IV-16
Grafik IV.7. K'-T' Diagram	IV-17
Grafik IV.8. Gaya Normal Kemudi PCC.....	IV-18
Grafik IV.9. Gaya Normal Kemudi RR-742	IV-19
Grafik IV.10. Gaya Normal Kemudi SR-108.....	IV-19
Grafik IV.11. Perubahan Thrust Propeller PCC.....	IV-21
Grafik IV.12. Perubahan Thrust Propeller RR-742.....	IV-22
Grafik IV.10. Perubahan Thrust Propeller SR-108	IV-22

DAFTAR NOTASI

- Ah : Konstanta empiris yg mengekpresikan gaya lambung akibat interaksi dgn kemudi
- A_R : Luas area kemudi
- B : Lebar kapal
- C_b : Koefisien blok
- D : Diameter propeller
- d : Sarat air
- Fn : Angka Froude
- FN : Gaya normal kemudi
- FT : Gaya tangensial kemudi
- F_α(Λ): Gradien gaya normal kemudi terhadap sudut serang pada kondisi Open water
- I_{zz} : Momen inersia kapal terhadap sumbu z lokal pada midship
- J_{zz} : Added momen inersia kapal ($= -N\dot{r}$)
- J : Koefisien advance propeller ($= u_p / nD$)
- J_s : Apparent koefisien advance (U / nD)
- k : Increment faktor dari kecepatan rudder inflow oleh propeller
- K : Index kualitas steering
- K_T : Koefisien thrust
- K_Q : Koefisien Torsi
- L : Panjang kapal

- M : Massa kapal
- δ_0 : Sudut kemudi pada posisi maju lurus ke depan
- δ_R : Sudut efektif rudder inflow pada $\delta = 0$ derajat
- Λ : Aspek rasio kemudi
- ρ : Massa jenis air
- v : Kecepatan gerakan sway pada posisi letak titik berat kapal ($= v + x_G r$)
- v_P : Apparent kecepatan gerakan sway pada posisi propeller ($= v + l_P r$)
- W_P : Wake fraction efektif
- W_{P0} : Wake fraction efektif pada kondisi gerakan maju lurus ke depan
- X : Gaya hidrodinamik yang searah dengan sumbu x lokal
- X_{R0} : Tahanan dari kemudi pada kondisi gerakan maju lurus ke depan
- $X(u)$: Tahanan lambung kapal pada kondisi gerakan maju lurus ke depan
- $X_{vv}, X_{rr}, X_{vr} \dots$: Turunan gaya hidrodinamik yang searah dengan sumbu x lokal
- x_G : Letak titik berat kapal pada sumbu x lokal
- x_H : Konstanta empiris yang mengekspresikan letak titik tangkap gaya lambung akibat interferensi dengan kemudi
- x_P : Letak titik berat propeller pada sumbu x lokal
- x_R : Letak titik berat kemudi pada sumbu x lokal
- Y : Gaya hidrodinamik yang searah dengan sumbu y lokal
- Y_E : Gaya eksternal
- $Y_v, Y_r, Y_{vv}, Y_{rr} \dots$: Turunan gaya hidrodinamik yang searah dengan sumbu y lokal
- α_R : Sudut efektif rudder inflow

β : Drift angle $\left(= -\sin^{-1} \frac{v}{U} \right)$

γ_R : Koefisien flow straightening

δ : Sudut kemudi

NL : Subkripsi untuk menyatakan komponen nonlinearitas dari gaya dan momen

m_x : Added mass kapal pada arah sumbu x lokal $(= -X\dot{u})$

m_y : Added mass kapal pada arah sumbu y lokal $(= -Y\dot{v})$

N : Momen yawing terhadap midship

N : Momen yawing terhadap titik berat $(= N - x_G Y)$

$N_v, N_r, N_{vvv}, N_{rrr} \dots$: Turunan gaya hidrodinamik momen yaw terhadap midship

n : putaran propeller per detik (rpm)

p : Pitch rasio propeller

Q : Torsi propeller

r : Kecepatan yawing

s : Slip rasio

T : Thrust propeller

t : Koefisien Thrust deduction

t_R : Koefisien deduksi dari komponen gaya longitudinal oleh kemudi terkendali

U : Kecepatan kapal $\left(= \sqrt{u^2 + v^2} \right)$

U_R : Kecepatan efektif rudder inflow

- u : Komponen kecepatan kapal yang searah dengan sumbu x lokal
- u_p : Kecepatan efektif propeller inflow
- u_R : Komponen dari kecepatan efektif rudder inflow yang searah dengan sumbu x lokal
- v : Komponen kecepatan kapal yang searah dengan sumbu y lokal

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A Hasil running simulasi untuk Esso Osaka
- Lampiran B Hasil running simulasi untuk RR-742
- Lampiran C Hasil running simulasi untuk PCC
- Lampiran D Hasil running simulasi untuk SR-108
- Lampiran E Listing program



BAB I PENDAHULUAN



I.1 LATAR BELAKANG

Seiring dengan perkembangan dunia maritim secara umum maka dengan sendirinya juga akan diikuti dengan perkembangan sistem transportasi laut yang mana ditandai dengan semakin meningkatnya ukuran dan tonase kapal secara signifikan, sedangkan perkembangan dan pembangunan infrastruktur dan berbagai fasilitas kepelabuhanan di Indonesia pada saat ini sangat lambat dikarenakan beberapa hal dapat menjadi kendala secara teknis semisal tingginya tingkat sedimentasi pada kolam dan alur pelabuhan, minimnya anggaran dana untuk operasional dan maintenance khususnya untuk pengerukan kolam pelabuhan, buruknya perencanaan pelabuhan termasuk diantaranya perencanaan luas kolam pelabuhan yang tidak dapat memberikan keleluasan bagi kapal yang hendak berlabuh untuk melakukan gerakan maneuver tanpa bantuan pandu atau kapal tunda, lebar dan kedalaman alur yang tidak memadai untuk lalu lintas pelayaran dengan tingkat yang tinggi, sehingga hal-hal tersebut di atas berakibat membawa resiko kecelakaan yang terjadi di laut semisal terjadinya kandas atau tabrakan antar kapal sebagaimana yang terjadi di alur pelabuhan Tanjung Perak beberapa waktu yang lalu. Peningkatan displasemen dan kenaikan sarat kapal telah membawa suatu bentuk efek yang serius dalam hal yang memicu bertambahnya tingkat kesulitan bagi kapal dalam melakukan gerakan maneuver



utamanya pada saat hendak mendekati dermaga ketika akan berlabuh atau saat hendak meninggalkan dermaga dimana kolam pelabuhan dan alur pelayaran di sekitar dermaga tersebut tentu memiliki luas dan kedalaman perairan yang terbatas. Dalam kemampuan melakukan gerakan maneuver terdapat dua karakter kapal yang saling inkonsisten yakni course keeping quality atau course stability dan turning ability. Secara umum apabila suatu kapal memiliki course stability yang baik maka sudah tentu kapal akan memiliki respon yang jelek terhadap perubahan sudut kemudi atau dengan kata lain kapal akan sulit untuk dibelokan demikian juga sebaliknya. Pada perencanaan sebuah kapal, rute pelayaran sudah ditentukan sejak awal dimana kondisi lingkungan dari lintasan yang akan dilalui baik yang berkenaan dengan kedalaman perairan, kecepatan arus, kecepatan angin, sea state dan lain sebagainya telah menjadi perhatian dan pertimbangan dalam memprediksi respon gerak kapal dan kemampuan maneuvernya, selain itu tidak menutup kemungkinan sebuah kapal akan dioperasikan di daerah lain dengan kondisi lingkungan yang sangat berbeda diluar rute yang sudah direncanakan semula. Hal ini tentu akan sangat berpengaruh terhadap maneuvering performance sebuah kapal yang pada akhirnya akan menentukan pula tingkat keamanan kapal jika dioperasikan di daerah tersebut. Suatu prediksi awal dari maneuverability sebuah kapal tentu akan sangat dibutuhkan untuk mengetahui sejauh mana kapal tersebut mampu dioperasikan secara maksimal pada suatu rute pelayaran dengan daerah pelayaran yang memiliki kondisi lingkungan yang berbeda-beda.

Pedekatan simulasi numerik akan sangat membantu dalam memprediksi kemampuan maneuver sebuah kapal baik untuk tahap perencanaan



kapal maupun ketika kapal hendak dioperasikan di luar rute pelayaran normalnya dimana kondisi alur maupun kolam pelabuhan yang menjadi tujuan memiliki kondisi yang berbeda, dengan mengubah-ubah variabel yang diberikan tentu kita akan mendapatkan gambaran awal kemampuan maneuver kapal jika dioperasikan dalam suatu kondisi yang berbeda-beda tersebut, hal ini akan sangat membantu dalam menghemat waktu dan biaya.

I.2 PERUMUSAN MASALAH

- a. Bagaimana hubungan antara Overshoot angle, overshoot time yang terjadi saat kapal melakukan zigzag test terhadap perubahan sudut kemudi pada kedalaman perairan tertentu
- b. Mengidentifikasi karakteristik lintasan, perubahan kecepatan kapal, perubahan kecepatan dan percepatan yawing, perubahan drift angle pada saat kapal melakukan zigzag test terhadap variasi kedalaman perairan tertentu.

I.3 BATASAN MASALAH

Mempertimbangkan luasnya bidang penelitian maka dianggap perlu untuk memberikan batasan-batasan pada penelitian yang dilakukan. Agar lebih fokus pada pembahasan, batasan-batasan yang diberikan adalah sebagai berikut :

- a. Simulasi dan analisa dititik beratkan hanya kepada zigzag maneuver test
- b. Simulasi dilakukan dengan asumsi kapal dalam kondisi displasemen penuh dan sarat air rata.



- c. Simulasi dan analisa dititik beratkan hanya kepada kapal dengan bentuk geometri single hull, single propeller dan single rudder dengan letak kemudi berada pada aliran jet propeller.
- d. Pengaruh faktor gelombang, arus air dan tekanan angin tidak diperhitungkan.
- e. Koefisien hidrodnamik telah diketahui dari percobaan model captive test untuk harga angka Froude, velocity advance dan kedalaman perairan tertentu.
- f. Pengaruh dinding sisi vertikal (bank effect) dan pengaruh squat tidak diperhitungkan.
- g. Sistem bantu maneuver seperti bow thruster, stern thruster pada kapal diasumsikan tidak ada.

I.4 TUJUAN PENELITIAN

I.4.1 Tujuan Umum

Tujuan dari penulisan ini adalah untuk memprediksi respon gerak maneuver kapal jika dioperasikan pada suatu daerah perairan dengan kedalaman tertentu terhadap perubahan sudut kemudi dan putaran propeller.

I.4.2 Tujuan Khusus

Tujuan khusus dari penulisan meliputi beberapa faktor khusus, antara lain :

- a. Mendapatkan waktu overshoot (time overshoot) dan jarak overshoot saat kapal melakukan gerakan zigzag maneuver.



- b. Mengenali dan mengidentifikasi perubahan-perubahan pada kecepatan maju kapal, drift angle, heading angle, kecepatan sudut yawing, percepatan sudut yawing, gaya normal yang terjadi pada kemudi dan gaya dorong yang dihasilkan propeller terhadap perubahan sudut kemudi dan putaran propeller
- c. Menghitung index stability (K) dan time lag (T) untuk Nomoto diagram dari zigzag maneuver test.

I.5 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diperoleh bagi pihak galangan sebagai perencana dan pembuat kapal serta pemilik kapal dan awak kapal sebagai pihak yang mengoperasikan kapal adalah sebagai alat analisis yang penting untuk memprediksi karakter respon gerakan maneuver kapal tanpa melakukan percobaan yang sifatnya full scale test terlebih dahulu. Secara spesifik beberapa variabel persoalan yang ingin didapatkan adalah sebagai berikut :

- a. Mendapatkan faktor yang berperan penting dalam proses gerakan maneuver dan mengetahui pengaruh dari perubahan sudut kemudi dan putaran propeller terhadap kemampuan respon gerakan maneuver pada berbagai variasi kedalaman perairan tertentu.
- b. Mendapatkan waktu dan jarak yang dibutuhkan dalam mengubah arah haluan kapal sejak jantra kemudi (helms) diubah sesuai dengan ordered angle.



- c. Hasil simulasi dapat digunakan sebagai bahan referensi awal guna memprediksi kemampuan maneuver kapal sebelum diadakan pengujian maneuver yang sebenarnya pada rute-rute pelayaran yang lain.

I.6 METODOLOGI PENELITIAN

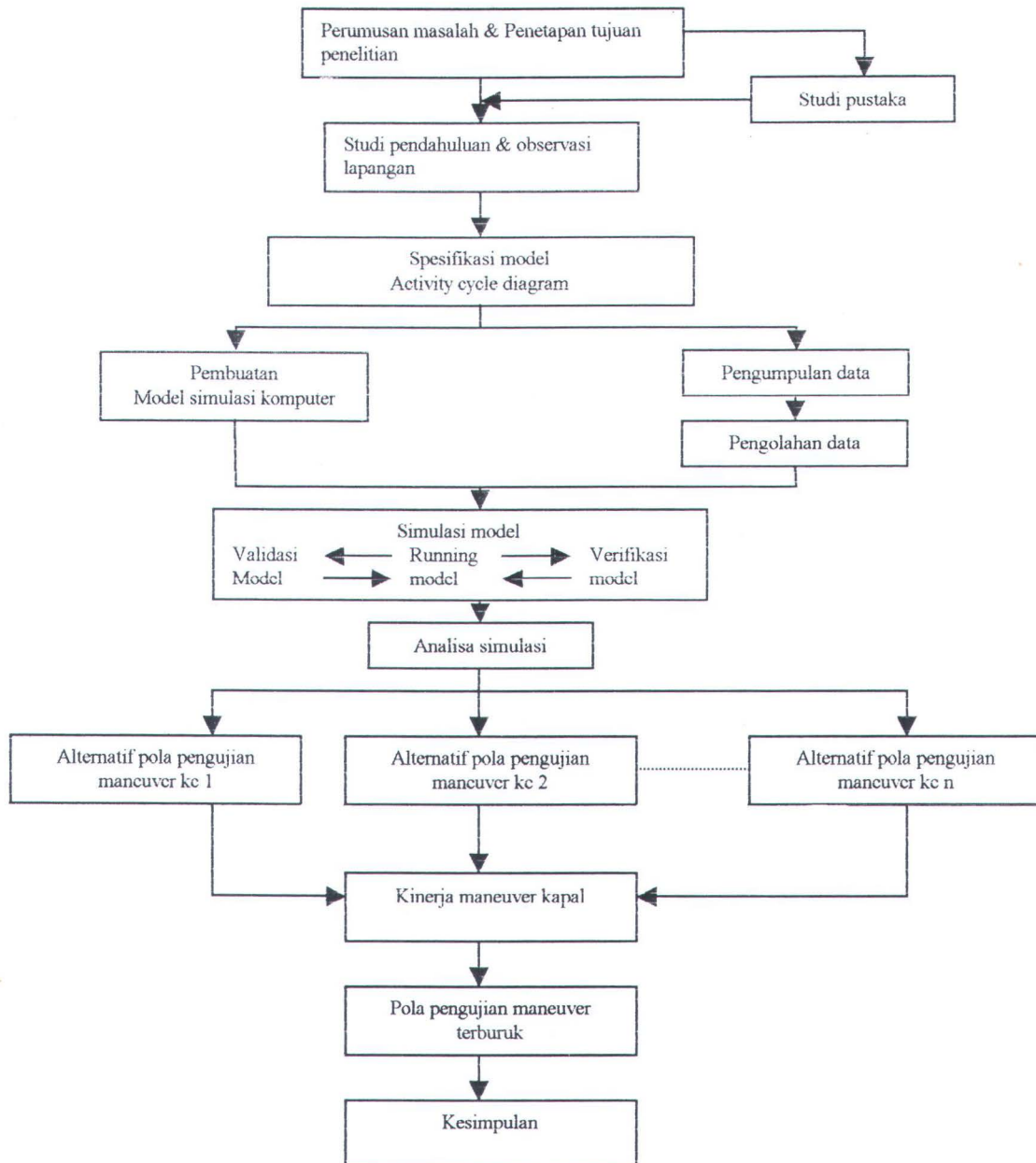
Metodologi Penelitian dapat diartikan sebagai suatu cara, strategi atau mekanisme untuk melaksanakan proses penelitian yang bertujuan untuk menghasilkan sesuatu yang menjawab hipotesa yang telah ditentukan. Adapun metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Perumusan atau identifikasi masalah
2. Penetapan tujuan penelitian
3. Studi pendahuluan
4. Studi pustaka
5. Spesifikasi model
6. Pengumpulan data
7. Pengolahan data
8. Pembuatan model analitis (model simulasi)
9. Analisa simulasi
10. Pola alternatif pengujian maneuver
11. Kesimpulan



I.6.1 Kerangka Metodologi Penelitian

Kerangka penelitian dari tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut :

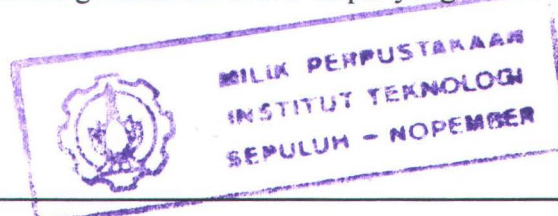




I.6.2 Identifikasi Masalah

Perumusan masalah dalam suatu penelitian merupakan suatu titik awal setelah peneliti melihat permasalahan yang muncul, sekaligus untuk menentukan tujuan dari penelitian masalah itu sendiri.

Masalah-masalah yang akan didapatkan solusinya, adalah bagaimana performance respon gerakan maneuver kapal ketika melakukan gerakan zigzag maneuver terhadap suatu perubahan sudut kemudi, putaran propeller dan kedalaman perairan tertentu, ditinjau dari perspektif standard regulasi keamanan maneuver suatu kapal yang direkomendasikan oleh International Maritime Organization (IMO) sebagaimana pada penjelasan yang tertera pada annex ke 6 resolusi MSC. 137 (76) tertanggal 4 desember 2002. Untuk menyederhanakan permasalahan maka tidak mengikutsertakan komponen faktor gaya luar yang bekerja pada badan kapal semisal faktor gelombang, arus air dan tekanan angin. Tingkat keamanan maneuver suatu kapal ditentukan oleh karakteristik maneuver kapal itu sendiri, indentifikasi karakter maneuvering kapal yang meliputi antara lain jarak advance, transfer, tactical diameter, time overshoot dan jarak overshoot akan sangat membantu awak kapal untuk mengambil keputusan dalam pengoperasian kapal terutama saat kapal dituntut melakukan gerakan maneuver pada daerah-daerah perairan yang cukup sempit dan dangkal seperti halnya ketika memasuki alur-alur dan kolam pelabuhan. Dengan pengenalan karakter maneuvering kapal maka dapat dihindari terjadinya kandas, tabrakan antar kapal maupun kerusakan dermaga akibat gerakan maneuver kapal yang berlebihan.





I.6.3 Penetapan Tujuan Penelitian

Mendapatkan gambaran respon gerakan maneuver kapal yang representatif dari hasil pendekatan secara numerik terhadap proses gerakan maneuver kapal yang riil dengan demikian diharapkan dapat membantu identifikasi secara awal karakter maneuvering kapal terhadap perubahan sudut kemudi dan putaran propeller pada variasi tingkat kedalaman perairan.

I.6.4 Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan bertujuan untuk mencari informasi mengenai objek yang diteliti. Dari sini akan diperoleh pemahaman detail mengenai kondisi riil di lapangan dan cara kerja atau perilaku sistem yang ditinjau, sehingga model yang akan dibuat dapat mewakili sistem secara akurat agar dapat dilakukan analisis sistem sesuai tujuan yang diinginkan. Observasi ditekankan pada aktivitas-aktivitas bentuk maneuver kapal di sekitar kolam pelabuhan utamanya saat memasuki alur-alur pelabuhan dan ketika hendak merapat serta meninggalkan dermaga pelabuhan. Dari observasi lapangan akan didapatkan pola-pola gerakan maneuver kapal ketika akan mendekati atau meninggalkan dermaga, faktor-faktor yang berpengaruh dalam menentukan maneuverability suatu kapal dan mekanisme hubungan antara perubahan sudut kemudi serta putaran propeller terhadap performance kapal ketika dioperasikan untuk melakukan gerakan maneuver tertentu.



I.6.5 Studi Pustaka

Studi pustaka digunakan untuk memperoleh konsep, teori serta metode yang berhubungan dengan masalah dan tujuan penelitian, juga penelitian-penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan masalah tersebut. Literatur yang menjadi tinjauan pustaka adalah mengenai masalah simulasi, maneuvering kapal dan pemodelan simulasi sistem dalam mengamati aktivitas atau pengkajian proses, dimana model simulasi dijadikan sebagai bahan pertimbangan yang akan digunakan sebagai metode analisis masalah.

I.6.6 Spesifikasi Model

Pembuatan activities cycle digram dari proses gerakan maneuver kapal mengacu pada model yang diusulkan oleh Mathematical Modeling Group (MMG) yang dibentuk oleh Japan society of Naval Architect (JSNA). Model ini terdiri dari tiga komponen utama yang berpengaruh dalam gerakan maneuver kapal yakni karakteristik lambung kapal (bare hull), karakteristik propeller baik pada kondisi open water characteristic maupun pada kondisi behind hull characteristic dan karakteristik daun kemudi. Model matematis ini diimplementasikan ke dalam program komputer yang akan digunakan untuk melakukan perhitungan karakteristik gerakan zigzag maneuver dan turning circle maneuver. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah *Compaq Visual Fortran Versi 6.5* dan *Matlab 6p5 Release.13*. dari *Mathworks. Inc.*



I.6.7 Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan sebagai input model yang merupakan data primer, diantaranya, ukuran utama kapal, massa dan momen inersia massa untuk sumbu-zz kapal, letak titik gravitasi dari lambung, propeller dan kemudi kapal, koefisien turunan hidrodinamik untuk harga angka Froude, velocity advance dan kedalaman perairan tertentu yang diperoleh dari hasil pengujian *model captive test*, karakteristik propeller yang meliputi koefisien torsi, koefisien thrust dan efisiensi propeller untuk velocity advance tertentu dan diameter propeller, pitch ratio, expanded area ratio (E.A.R), karakteristik kemudi yang meliputi rasio luasan kemudi, rasio antara tinggi kemudi dan diameter propeller dan steering rate yang tergantung dari spesifikasi kuadran steering gear. Dan data sekunder berupa kondisi awal yang meliputi kecepatan awal, putaran awal propeller, drift angle awal, heading angle awal, sudut kemudi awal, kecepatan sudut yawing awal dan posisi awal kapal terhadap sumbu acuan dari koordinat kartesian.

I.6.8 Pengolahan Data

Setelah data-data didapatkan (data primer), selanjutnya untuk beberapa data semisal koefisien thrust dan koefisien torsi pada open water characteristics dari propeller dilakukan regresi polinomial sampai dengan derajat dua. Koefisien-koefisien dari masing-masing suku regresi polinomial ini dimasukkan sebagai parameter input untuk komponen propeller.



I.6.9 Pembuatan Model Analitis (Model Simulasi)

Setelah model simulasi dibuat, dilakukanlah running dari model tersebut, dimana pada langkah ini dibutuhkan input data yang telah dibuat pada langkah sebelumnya. Beberapa langkah yang dilakukan dalam tahap pengembangan simulasi model :

a. Verifikasi

Verifikasi merupakan proses penentuan bahwa suatu run simulasi dieksekusi sesuai dengan spesifikasi model. Metode verifikasi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah mengecek bahwa tiap elemen model dideskripsikan secara benar, perlu dicoba terus (*trial and error*) sampai program berjalan dengan mestinya.

b. Validasi

Validasi merupakan proses penentuan bahwa suatu model simulasi dapat diterima sebagai representasi sistem. Analisa terhadap performansi sistem dengan menggunakan model simulasi baru dapat dilakukan setelah model tersebut dianggap valid. Pada tahapan ini dilakukan perbandingan antara output performansi model dengan performansi sistem nyata, yaitu melakukan perbandingan rata-rata beberapa nilai performansinya. Untuk tugas akhir ini validasi dapat dicek dengan throughput time overshoot, jarak overshoot dari zigzag maneuver test dan jarak advance, transfer serta tactical diameter dari turning circle maneuver test melalui data yang diperoleh dari hasil running dibandingkan dengan data riil yang ada untuk kedalam perairan, kecepatan kapal, dan velocity advance yang tertentu.



I.6.10 Analisis Simulasi

Agar hasil simulasi dapat dianalisa dengan baik, mula-mula harus ditentukan dahulu jumlah pengulangan yang harus dilakukan sebelum program simulasi dijalankan. Dari hasil running simulasi, didapatkan output yang berupa data statistik yakni durasi maneuver sampai dengan kondisi steady state, perubahan sudut kemudi dari sudut mula-mula sampai dengan posisi commanded angle, heading angle, kecepatan dan percepatan sudut yawing, perubahan kecepatan maju kapal, letak posisi kapal relatif kapal dari posisi semula, gaya normal yang bekerja pada kemudi dan gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller dari masing-masing jenis maneuver test. Dari data tersebut, dianalisa dan dihubungkan dengan tujuan yang ingin dicapai.

Dalam analisis simulasi, juga dilakukan eksperimen dengan membuat skenario dari input model yang dibuat, seperti bagaimana jika proses pengujian maneuver dilakukan dengan mengubah-ubah pola sistemnya. Pada tugas akhir ini dilakukan 5 skenario simulasi dengan rincian :

1. Skenario 1 adalah kapal melakukan gerakan zigzag maneuver pada sudut kemudi 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 , 30^0 , 35^0 untuk rasio kedalam 0.5 meter (perairan dangkal).
2. Skenario 2 adalah kapal melakukan gerakan zigzag pada sudut kemudi 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 , 30^0 , 35^0 untuk rasio kedalam 5 dan 6.67 meter (perairan cukup dalam).



3. Skenario 3 adalah kapal melakukan gerakan zigzag maneuver pada sudut kemudi 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 , 30^0 , 35^0 untuk rasio kedalam 8.33 meter (perairan dalam).
4. Harga angka Froude divariasikan pada harga 0.005533 dan 0.00527 (kapal bergerak dengan kecepatan rendah atau dead slow)
5. Advance velocity divariasikan pada harga 0,00281, 0.00375, 0.00635, 0.00865 artinya untuk diameter propeller yang tetap, dan advance velocity yang konstan maka putaran propeller divariasikan sesuai dengan variasi harga advance velocity tersebut di atas.

Setelah dilakukan beberapa perubahan parameter pengujian maneuver maka dianalisis hasil dari running tiap skenario tersebut. Antara skenario yang satu dengan yang lain output dibandingkan dan dipilih hasil yang terburuk sebagai solusi. Kriteria hasil terburuk dilihat dari indikator kinerja yang didapatkan seperti time overshoot yang lama, jarak overshoot yang panjang, harga indeks stability (K) yang kecil, time lag (T) yang besar.

I.6.11 Pola Alternatif Pengujian Maneuver

Setelah dilakukan berbagi eksperimen skenario, maka hasil tampilan output bisa diketahui. Karakteristik masing-masing skenario dianalisis kemudian dibandingkan dan dipilih alternatif terburuk sebagai solusi. Kriteria pemilihan tersebut sesuai dengan yang telah dijelaskan.



I.6.12 Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahap akhir dari serangkaian tahapan penelitian, yaitu pengambilan kesimpulan dari semua tahapan yang telah dilakukan. Meskipun simulasi merupakan metode pendekatan terhadap gambaran riil yang tidak selalu seratus persen persis benar, namun hasil analisa simulasi atau eksperimen ini dapat digunakan sebagai alat analisis dalam pengkajian karakteristik perilaku maneuvering kapal secara rinci termasuk untuk menentukan batas-batas kemampuan kapal jika dituntut melakukan gerakan maneuver pada daerah sempit dan dangkal. Dengan demikian awak kapal dapat memilih putusan opsi yang terbaik untuk keamanan kapal.



BAB II

DASAR TEORI

II.1 PENDAHULUAN

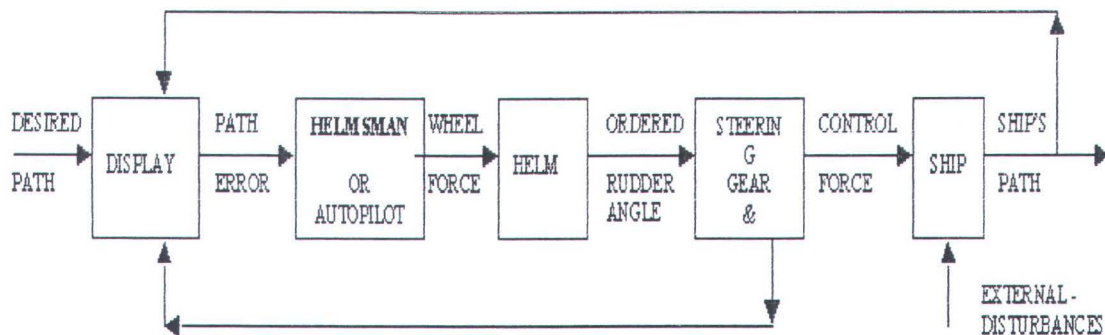
Substansi mengenai dinamika kapal meliputi berbagai hal yang cukup luas dan secara kasar dapat dipilah menjadi dua kategori : maneuverability atau controllability dan gerakan kapal di atas permukaan bergelombang atau seakeeping. Maneuvering meliputi gerakan yang menyebabkan kapal memberikan suatu respon gerakan sebagai jawaban dari aksi yang diberikan oleh sistem autopilot atau juru mudi (helmsman) dan untuk hal ini kapal memiliki karakteristik reaksi dalam rentang waktu beberapa menit. Pada sisi yang lain seakeeping merupakan suatu studi yang mempelajari karakteristik gerakan kapal yang terjadi sehubungan dengan gerakan aksi gelombang dan umumnya memiliki rentang waktu atau periode hanya dalam beberapa detik. Berangkat dari perbedaan skala rentang waktu dari dua tipe gerakan yang berbeda ini maka kita akan mengulas gerakan maneuver secara terpisah, dimana pada studi mengenai maneuvering kapal diasumsikan bergerak di air yang tenang sedangkan pada studi mengenai seakeeping kapal diasumsikan bergerak pada arah yang lurus (straight course) baik pada air tenang maupun yang bergelombang. Interaksi antara kedua tipe gerakan ini (sebagai contoh, apakah kira-kira yang terjadi dengan karakteristik gerakan rolling ketika kapal melakukan gerakan cikar atau belok pada kondisi perairan bergelombang), merupakan suatu bahan untuk berbagai penelitian pada saat ini. Gerakan maneuver meliputi berbagai permasalahan yang saling



berlawanan satu dengan yang lain. Tentu kita berharap untuk dapat mengendalikan kapal sesuai dengan arah yang ditentukan dan kita berharap pula untuk dapat membelokkan kapal apabila hal ini diperlukan. Untuk itu kita pertama-tama akan mengulas mengenai berbagai pertimbangan dalam control fixed course stability dan yang kedua adalah berbagai pertimbangan mengenai stabilitas pada saat membelok, sedangkan pengoperasian dalam kecepatan rendah dan stopping merupakan suatu pertimbangan tambahan. Course keeping dan turning merupakan dua hal yang saling berlawanan, artinya jika sebuah kapal secara ekstrem memiliki kemampuan untuk tetap stabil arah gerakannya maka kapal ini umumnya akan sangat sulit dibelokkan begitu juga sebaliknya jika suatu kapal ternyata tidak memiliki kemampuan untuk tetap bergerak lurus sesuai arahnya (unstable on course) maka disisi yang lain kapal ini akan mudah sekali dibelokkan dan pada kenyataannya kapal secara umum akan melenceng dari arah semula dengan sendirinya, hal ini terjadi sehubungan dengan adanya gangguan dari luar. Belum lama ini telah ada suatu aturan yang mengharuskan kapal untuk dapat dikontrol, agar kapal dalam kondisi fixed course stable. Dengan adanya pengembangan fuller vessel dan open stern untuk memperbaiki getaran induksi pada propeller, maka kapal dengan karakter tidak stabil (course unstable) telah dibuat dan dioperasikan, terkadang hal ini juga mencapai keberhasilan. Dalam teori kontrol maka akan timbul suatu pertanyaan : seberapa jauhkah sebuah kapal dapat dikendalikan oleh seorang juru mudi atau dengan sistem autopilot? Pertimbangan mengenai kontrol loop secara umum sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar. 2.1 dimana pada setiap masing-masing element memainkan peranan penting pada



keseluruhan respon gerakan kapal. Sedangkan elemen terakhir dari lop tersebut yakni 'kapal', merupakan suatu obyek utama, meski faktor manusia pada saat ini selalu direview ulang sebagai usaha untuk mengembangkan suatu desain yang baik.



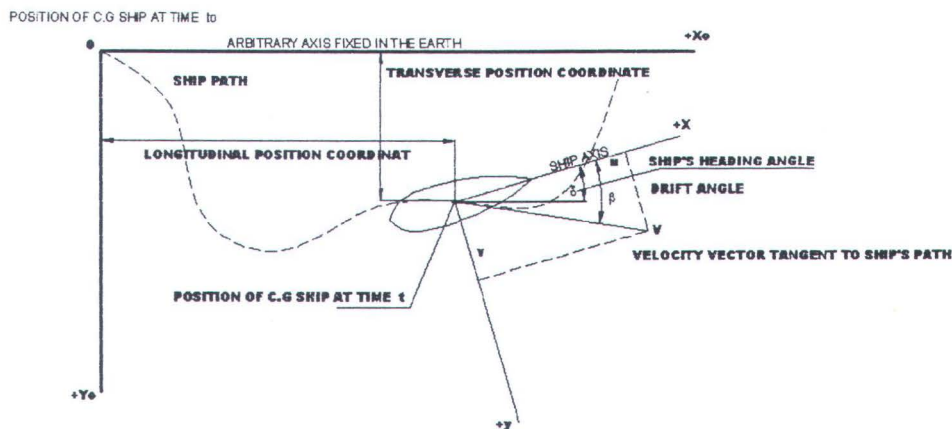
Gambar. 2.1

Berikut ini kita akan menitik beratkan kepada obyek utama yakni 'kapal' dalam usaha untuk mengkaji karakteristik respon kapal sehubungan dengan sudut kemudi dan beberapa gaya luar yang lain, dimana directional loop pada gambar di atas merupakan suatu fungsi untuk menentukan lintasan kapal dan speed control loop merupakan suatu fungsi untuk mengatur kecepatan kapal sepanjang lintasan, baik diperairan terbuka maupun terbatas dimana terkadang kedua loop ini digunakan secara simultan dan dengan adanya pengembangan dalam bidang kontrol otomatis maka penggabungan kedua loop ini menjadi suatu hal yang sudah biasa.



II.2 PERSAMAAN LINEAR BIDANG HORIZONTAL

Dasar dari dinamika maneuvering dan coursekeeping dapat dijelaskan dan dianalisa dengan menggunakan hukum gerak Newton. Pengertian dasar dari konsep bidang horizontal dapat digunakan pertama dengan memakai acuan satu set sumbu tetap relatif terhadap bumi dan yang kedua satu set sumbu tetap relatif terhadap kapal. Pada Gambar. 2.2 menunjukkan gambaran tipikal sumbu tetap dan sumbu bergerak untuk suatu permukaan kapal. Suatu lintasan pada umumnya didefinisikan sebagai suatu trajektori yang dilacak berdasarkan lintasan titik berat kapal atau beberapa titik acuan lain pada kapal.



Gambar. 2.2

Heading mengacu pada arah (Ψ sudut yaw) dari sumbu longitudinal kapal terhadap salah satu dari sumbu tetap. Perbedaan antara heading dengan actual course (atau arah dari vektor kecepatan pada titik berat kapal) disebut dengan drift angle, β . Dengan menuliskan hukum Newton pada kerangka acuan inersial (non akselerasi) (x_0, y_0) kita memiliki :

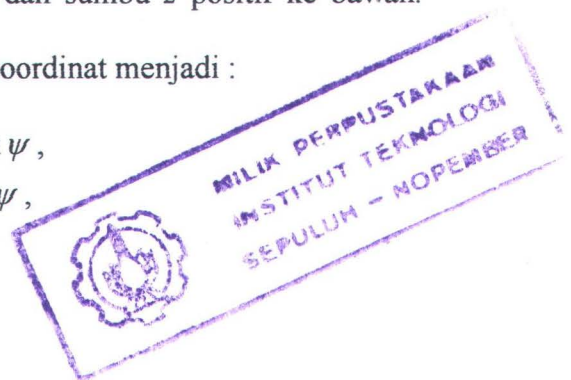
$$\begin{aligned} m\ddot{x}_0 &= X_0, \\ m\ddot{y}_0 &= Y_0, \\ I_z\ddot{\psi} &= N, \end{aligned} \quad (2.1)$$



dimana X_0 = gaya total pada arah sumbu x_0 ,
 Y_0 = gaya total pada arah sumbu y_0 ,
 $\dot{\psi}$ = turning moment ada seputar arah sumbu z_0 ,
 m = massa kapal ,
 I_z = momen inersia massa kapal pada sumbu z_0 ,
 ψ = sudut yaw diukur terhadap arah sumbu x_0 .

Untuk menyederhanakan persamaan (2.1) maka gerakan kapal akan lebih baik dinyatakan dengan suatu persamaan yang mengacu pada sistem koordinat tetap (x, y) terhadap gerakan kapal. Kerangka acuan tetap pada kapal selalu kerangka acuan tangan kanan dengan dengan sumbu x sejajar dengan arah longitudinal, sumbu y positif sejajar dengan arah starboard dan sumbu z positif ke bawah. Sehingga kita dapat mentransformasikan sistem koordinat menjadi :

$$\begin{aligned} X &= X_0 \cos \psi + Y_0 \sin \psi , \\ Y &= Y_0 \cos \psi - X_0 \sin \psi , \\ \ddot{X}_0 &= \cos \psi - v \sin \psi , \\ \ddot{Y}_0 &= \sin \psi + v \cos \psi . \end{aligned}$$



Jika persamaan di atas diturunkan dan disubstitusikan ke dalam persamaan (2.1) maka dengan asumsi bahwa $\psi = r$, kita akan mendapatkan

$$m\dot{u} - mvr = X , \text{ persamaan surge,(2.2)}$$

$$m\dot{v} + mur = Y , \text{ persamaan sway,(2.3)}$$

$$I_z \dot{r} = N , \text{ persamaan yaw,(2.4)}$$



dimana u, v, r adalah vector kecepatan arah longitudinal atau surge, lateral atau sway dan rotasional atau yaw kecepatan dari gerakan kapal. Hal ini juga akan lebih mudah jika persamaan gerak di atas dituliskan dengan mengacu terhadap sumbu tetap kapal yang ditujukan pada daerah midship ataupun titik berat kapal. Sehingga kita akan mendapatkan suatu bentuk hubungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}m\dot{u} - mvr - mx_G r^2 &= X, \\m\dot{v} + mur + mx_G r^2 &= Y, \\Iz\dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N, \dots\dots\dots(2.5)\end{aligned}$$

dengan mengasumsikan bahwa $y_G = 0$. Perlu dicatat bahwa keberadaan gaya sentrifugal pada persamaan di atas yang mana akan muncul ketika sistem dengan sumbu bergerak digunakan namun hal ini tidak akan muncul jika kita menggunakan kerangka acuan koordinat inersial. Gaya dan momen pada ruas sebelah kanan persamaan gerak (2.2) sampai dengan (2.4) membentuk empat tipe gaya yang bekerja pada kapal saat melakukan gerakan maneuver.

1. Gaya fluida yang bekerja pada badan kapal sehubungan dengan adanya air disekelilingnya, dinyatakan dengan subscript F
2. Gaya sehubungan dengan kontrol permukaan semisal adalah kemudi, dive planes, bow planes, thrusters dinyatakan dengan subscript R .
3. Berbagai gaya lingkungan sehubungan dengan adanya angin, arus, atau gelombang dan dinyatakan dengan subscript E .
4. Gaya dorong atau propulsi, T



Dengan demikian secara umum kita dapat mengatakan bahwa

$$X = X_F + X_R + X_E + T', \dots \dots \dots (2.6)$$

$$Y = Y_F + Y_R + Y_E, \dots \dots \dots (2.7)$$

$$N = N_F + N_R + N_E, \dots \dots \dots (2.8)$$

Gaya hidrodinamik X_F , Y_F , N_F tergantung pada gerakan kapal melalui air dan merupakan fungsi dari kecepatan dan percepatan kapal relatif terhadap air.

Dengan kata lain kita dapat menuliskan sebagai berikut :

$$X_F = X_F(u, v, \dot{u}, \dot{v}, r, \dot{r}), \dots \dots \dots (2.9)$$

$$Y_F = Y_F(u, v, \dot{u}, \dot{v}, r, \dot{r}), \dots \dots \dots (2.10)$$

$$N_F = N_F(u, v, \dot{u}, \dot{v}, r, \dot{r}), \dots \dots \dots (2.11)$$

Persamaan fungsional dependen (2.9) sampai dengan (2.11) bisa menjadi lebih kompleks lagi, namun demikian untuk suatu studi mengenai maneuvering umumnya dilakukan suatu bentuk penyederhanaan. Kita akan menjadi lebih tertarik pada respon gerak kapal untuk sekitar titik nominal kesetimbangan yang ditandai dengan subscript 1. Dengan mengekspansikan deret Taylor pada sekitar titik nominal dan tetap mempertahankannya pada order pertama saja maka kita akan dapatkan,

$$Y_F = Y_F(u, v, \dot{u}_1, \dot{v}_1, r_1, \dot{r}_1) + (u - u_1) \frac{\partial Y_F}{\partial u} + (v - v_1) \frac{\partial Y_F}{\partial v} + \dots + (\dot{r} - \dot{r}_1) \frac{\partial Y_F}{\partial \dot{r}} \dots \dots (2.12)$$

dimana keseluruhan dari turunan parsial akan dievaluasi pada kondisi nominal.

Demikian juga halnya untuk persamaan (2.12) yang diturunkan dari X_F dan N_F .

Kondisi nominal yang dimaksud yakni gerak lurus dengan kecepatan konstan, r



$$u_1 = U, v_1 = \dot{u}_1 = \dot{v}_1 = r_1 = \dot{r}_1 = 0, \dots\dots\dots(2.13)$$

Dikarenakan sisi port/starboard kapal adalah simetri $\partial Y_F / \partial u = \partial Y_F / \partial \dot{u} = 0$ sehingga suatu perubahan pada kecepatan maupun percepatan maju akan menghasilkan gaya lintang dengan bentuk badan kapal bila simetris terhadap bidang- xz.. Dengan demikian jika sebuah kapal ternyata memiliki kesetimbangan pada saat melakukan gerakan maju lurus ke depan, maka dapat diartikan bahwa pada kondisi tersebut di badan kapal bekerja gaya Y_F sehingga hubungan pertama pada (2.12) menjadi nol juga. Dengan bentuk penyederhanaan maka persamaan (2.12) dapat direduksi menjadi

$$Y_F = \frac{\partial Y_F}{\partial v} v + \frac{\partial Y_F}{\partial \dot{v}} \dot{v} + \frac{\partial Y_F}{\partial r} r + \frac{\partial Y_F}{\partial \dot{r}} \dot{r}, \dots\dots\dots(2.14)$$

dengan cara yang sama maka gaya surge dan momen yaw dapat ditulis sebagai berikut

$$X_F = \frac{\partial X_F}{\partial \dot{u}} \dot{u} + \frac{\partial X_F}{\partial u} (u - U) + \frac{\partial X_F}{\partial v} v + \frac{\partial X_F}{\partial \dot{v}} \dot{v} + \frac{\partial X_F}{\partial r} r + \frac{\partial X_F}{\partial \dot{r}} \dot{r}, \dots\dots\dots(2.15)$$

$$N_F = \frac{\partial N_F}{\partial v} v + \frac{\partial N_F}{\partial \dot{v}} \dot{v} + \frac{\partial N_F}{\partial r} r + \frac{\partial N_F}{\partial \dot{r}} \dot{r}, \dots\dots\dots(2.16)$$

dimana turunan cross couplingnya menjadi $\partial Y_F / \partial r, \partial Y_F / \partial \dot{r}, \partial N_F / \partial v, \partial N_F / \partial \dot{v}$ umumnya harganya sangat kecil walaupun tidak nol, hal ini dikarenakan bentuk badan kapal tidak simetris terhadap bidang- yz terkecuali jika bidang tersebut



berada di sekitar tengah kapal (bow dan stern umumnya lebih cenderung ada sedikit perbedaan).

Sedangkan turunan cross coupling $\partial Y_F / \partial v, \partial Y_F / \partial \dot{v}, \partial X_F / \partial r, \partial X_F / \partial \dot{r}$ adalah sama dengan nol dikarenakan badan kapal simetris terhadap bidang- xz dan persamaan (2.13). Maka persamaan (2.15) dapat direduksi menjadi

$$X_F = \frac{\partial X_F}{\partial \dot{u}} \dot{u} + \frac{\partial X_F}{\partial u} (u - U), \dots \dots \dots (2.17)$$

Pada standard notasi, kita dapat menamakan $\partial Y_F / \partial v, \partial Y_F = Y_v, \partial N_F / \partial r = N_r$ dan lain sebagainya, dimana kesemuannya dinamakan dengan turunan hidrodinamik, disamping itu hal ini selain mengandung bentuk matematis turunan parsial orde pertama namun juga mengandung arti fisik yang sebenarnya. Sebagai contoh Y_r , adalah gaya pada arah sway sehubungan dengan satu satuan perubahan pada kecepatan angular yaw. Dengan menggunakan notasi di atas dan mensubstitusikannya ke dalam persamaan (2.5), persamaan linear dari gerak pada bidang horizontal dengan tanpa adanya gangguan luar dari lingkungan serta pada kontrol permukaan nol, akan menjadi

$$(m - X_{\ddot{u}}) \ddot{u} = X_u (u - U), \dots \dots \dots (2.18)$$

$$(m - Y_{\ddot{u}}) \ddot{v} - (Y_{\dot{r}} - m x_G) \dot{r} = Y_v v + (Y_r - m U) r, \dots \dots \dots (2.19)$$

$$(I_z - N_{\ddot{r}}) \ddot{r} - (N_{\dot{v}} - m x_G) \dot{v} = N_v v + (N_r - m x_G U) r, \dots \dots \dots (2.20)$$

dimana kita dapat melihat linearitas persamaan surge yang dipisahkan (tidak dikopel) dari sway dan yaw didalamnya. Hal ini sangat penting untuk dicatat



bahwa pada seluruh hubungan persamaan (2.19) dan (2.20) harus termasuk kedalam efek dari kemudi kapal pada posisi nol, di lain sisi jika kita ingin mempertimbangkan suatu lintasan dengan kondisi kapal dalam keadaan terkontrol, persamaan gerak (2.19) dan (2.20) harus termasuk hubungan pada ruas sebelah kanan dari persamaan yang menyatakan kontrol gaya dan momen yang dihasilkan oleh defleksi daun kemudi (atau peralatan kontrol yang lain) sebagai fungsi dari waktu. Jika dengan asumsi bahwa gaya dan momen kemudi pada kapal adalah fungsi dari sudut kemudi δ saja dan bukan $\dot{\delta}$, maka kita mendapatkan

$$X_R(\delta) = X_R(\delta = 0) + \frac{\partial X_R}{\partial \delta} \delta = 0, \dots\dots\dots(2.21)$$

$$Y_R(\delta) = Y_R(\delta = 0) + \frac{\partial Y_R}{\partial \delta} \delta = 0, \dots\dots\dots(2.22)$$

$$N_R(\delta) = N_R(\delta = 0) + \frac{\partial N_R}{\partial \delta} \delta = 0, \dots\dots\dots(2.23)$$

dimana δ adalah sudut defleksi daun kemudi (lihat Gambar.2.5) diukur berdasarkan aturan tangan kanan dari gambar 2; arah positif dari defleksi daun kemudi yakni putaran kearah portside jika kemudi terletak pada stern. Y and N adalah turunan hidrodinamik dari daun kemudi, termasuk gaya dan momen kemudi, persamaan gerak yang sudah linear dari sway, (2.19) dan yaw, (2.20), menjadi

$$(m - Y_{\dot{u}})\dot{v} - (Y_{\dot{r}} - mx_G)\dot{r} = Y_v v + (Y_r - mU)r + Y_{\delta} \delta, \dots\dots\dots(2.24)$$

$$(I_z - N_{\dot{r}})\dot{r} - (N_{\dot{v}} - mx_G)\dot{v} = N_v v + (N_r - mx_G U)r + N_{\delta} \delta, \dots\dots\dots(2.25)$$



Kerja maneuvering pada umumnya diselesaikan pada bentuk nondimensional. Dengan menggunakan densitas air, panjang kapal L , kecepatan maju nominal U , kita dapat menondimensionalkan seluruh variable dalam bentuk

$$v' = \frac{v}{U}, r' = \frac{rL}{U}, \dot{v}' = \frac{\dot{v}L}{U^2}, \dot{r}' = \frac{\dot{r}L^2}{U^2},$$

$$t' = \frac{tU}{L}, m' = \frac{m}{\frac{1}{2}\rho L^3}, I'_z = \frac{I_z}{\frac{1}{2}\rho L^5}, x'_G = \frac{x_G}{L},$$

$$Y'\dot{v} = \frac{Y\dot{v}}{\frac{1}{2}\rho L^3}, Y'\dot{r} = \frac{Y\dot{r}}{\frac{1}{2}\rho L^4}, N'\dot{v} = \frac{N\dot{v}}{\frac{1}{2}\rho L^4}, N'\dot{r} = \frac{N\dot{r}}{\frac{1}{2}\rho L^5},$$

$$Y'v = \frac{Yv}{\frac{1}{2}\rho L^2 U}, Y'r = \frac{Yr}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}, N'v = \frac{Nv}{\frac{1}{2}\rho L^3 U}, N'r = \frac{Nr}{\frac{1}{2}\rho L^4 U},$$

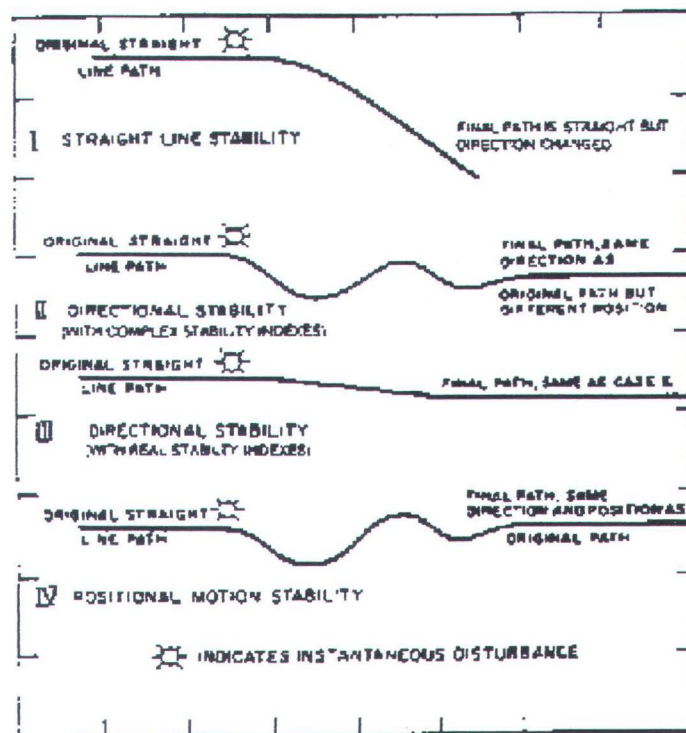
$$Y'\delta = \frac{Y\delta}{\frac{1}{2}\rho L^2 U^2}, N\delta = \frac{N\delta}{\frac{1}{2}\rho L^3 U^2},$$

Perlu dicatat bahwa satuan waktu yang dimaksud disini adalah satuan waktu yang digunakan untuk menempuh satu kali panjang kapal. Kemudian bentuk persamaan yang tidak berdimensi ini dirubah menjadi suatu bentuk yang identik sesuai dengan variable semula terhadap (2.24) dan (2.25) dengan $U' = 1$. Berikut ini, kita akan selalu menggunakan bentuk persamaan yang tidak berdimensi, terkecuali jika dijelaskan sebelumnya.



II.2.1 STABILITAS ARAH LURUS MAJU KAPAL

Konsep dari mempertahankan suatu bentuk lintasan lebih menitik beratkan pada konsep course stability atau straight line motion. Berbagai bentuk stabilitas gerakan yang berhubungan dengan wahana laut dapat diklasifikasikan berdasarkan kondisi awal dari kesetimbangan yang diambil dari lintasan akhir titik berat mereka masing-masing. Sebagai contoh pada kasus dalam gambar.3, sebuah kapal mula-mula diasumsikan akan bergerak dengan kecepatan konstan sepanjang lintasan lurusnnya.



Gambar (2.3)

Pada kasus I, yang dimaksud dengan gerakan lurus (straight line) atau stabilitas dinamik, yakni lintasan akhir setelah gangguan dilepaskan atau dihilangkan dari kondisi awal kesetimbangan, namun bukan pada arahnya. Pada kasus II, yang dimaksud dengan stabilitas arah (directional stability), yakni lintasan akhir setelah



gangguan dihilangkan namun bukan hanya dari lintasan awal gerakan lurus tersebut namun berikut juga arahnya. Kasus III adalah sama dengan kasus II kecuali jika kapal tidak melakukan gerakan osilasi setelah diberikan gangguan, namun melewati phase tersebut dengan smooth sebagaimana lintasan pada kasus II.. Hal ini akan berpengaruh pada karakteristik akar kompleks konjugat dengan bagian real yang negatif untuk kasus III dan II. Terakhir, pada kasus IV, stabilitas posisi gerakan, kapal akan kembali pada lintasan semula dengan arah yang sama dimana perubahan arah tersebut sama sebagaimana dengan perubahan lintasan. Ketidakstabilan dari straight line stability ini diindikasikan dengan hasil solusi yakni persamaan turunan dengan order dua sedangkan ketidakstabilan dari directional stability diindikasikan dengan solusi persamaan diferensial orde tiga dan ketidakstabilan positional stability diindikasikan dengan persamaan diferensial orde empat. Selanjutnya istilah control fixed stability lebih kita fokuskan kepada control fixed straight line stability.

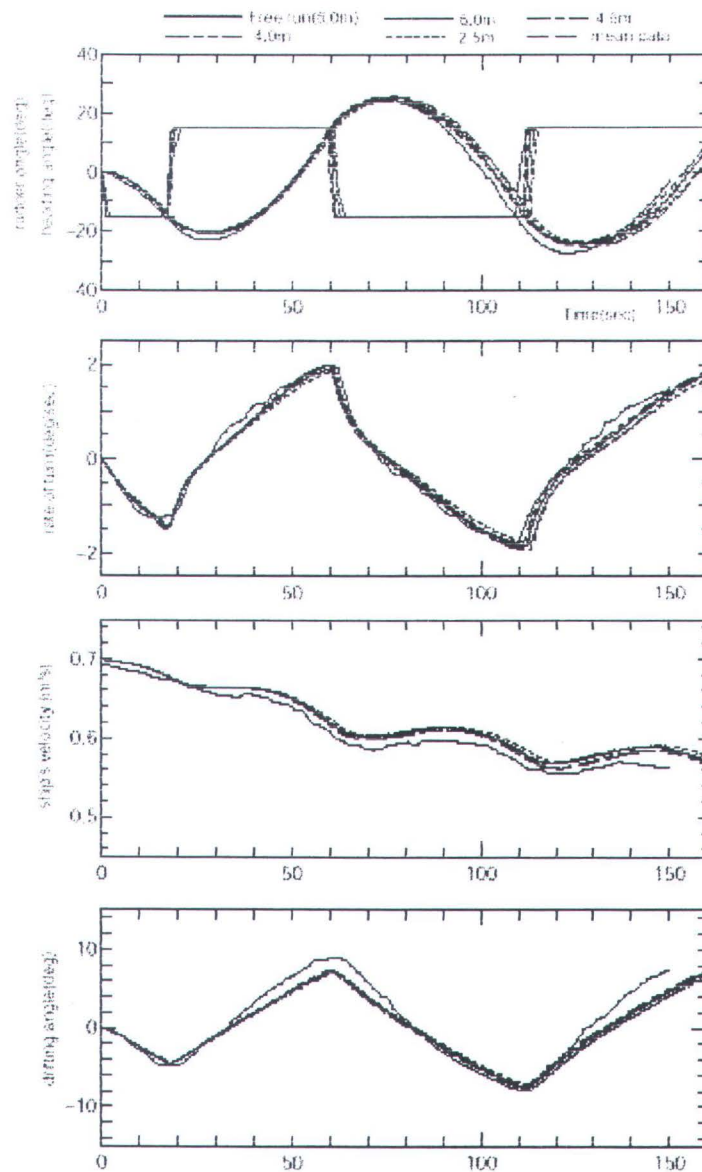
II.2.2 STABILITAS ARAH BELOK KAPAL

Hal yang paling dasar dalam gerakan maneuver sebuah kapal adalah gerakan belok. Respon sebuah kapal berikut gaya dan momen yang dihasilkan oleh sebuah kemudi terhadap perubahan sudut defleksi kemudi, dapat dibagi menjadi dua bagian

1. Phase transient awal, dimana dalam phase ini terjadi percepatan surge, sway dan yaw sangat signifikan.



2. Phase breaking steady turn, dimana pada phase ini ketika kecepatan belok dan kecepatan maju harganya mulai konstan dan lintasan yang terbentuk oleh kapal adalah hampir mendekati lingkaran maka kemudi dibelokkan dengan sudut yang sama besar namun dengan arah berlawanan dari arah semula.



Gambar.2.4 Time history gerakan belok pada zigzag maneuver



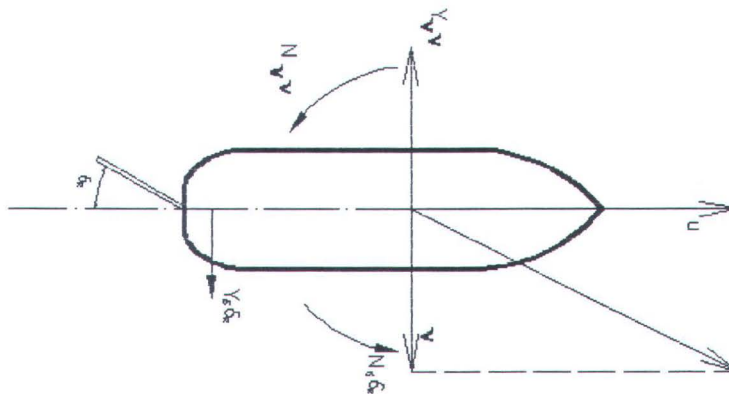
Gambar.2.4 menunjukkan definisi diagram dari lintasan belok sebuah kapal pada gerakan zigzag maneuver. Pada umumnya gerakan zigzag sebuah kapal dikarakteristikan dengan dua jenis pengukuran yakni : sudut overshoot dan time overshoot baik untuk eksekusi sudut kemudi yang pertama atau yang kedua. Pada gambar tersebut juga menunjukkan suatu titik yang umum disebut dengan pivot point. Titik ini sangat penting dikarenakan bagi seorang pengamat yang berada diluar dari kapal yang sedang melakukan gerakan belok, maka jika kapal tersebut melakukan gerakan belok akan nampak berputar setempat (pivoting) pada sekitar titik tersebut dan biasanya titik itu terletak diantara belakang haluan sampai dengan didepan bagian tengah kapal. Bagian haluan akan bergerak menuju ke arah dalam dari lingkaran lintasan belok, ketika bagian buritan bergerak sebaliknya yakni menjauhi lingkaran belok. Berdasarkan Gambar.2.4, jarak antara titik pivot dengan titik berat kapal adalah $x_c = R \sin \beta$, dimana β adalah drift angle. Pada umumnya suatu jari-jari lintasan belok akan menjadi kecil jika sudut driftnya terlalu besar, sehingga harga $R \sin \beta$ tidak akan terlalu signifikan baik untuk kapal yang sama ataupun untuk tipe kapal yang lain pada berbagai jarak radius lingkaran belok. Biasanya pada berbagai kapal secara umum titik pivot terletak diantara haluan sampai dengan $0.2L$ haluan. Berdasarkan data empiris sudut drift β dalam satuan derajat berkisar pada kisaran harga sekitar $=22.5L/R+1.45$ dan $=18L/R$. Dahulu kisaran harga x_c berada sekitar 0.4 sampai dengan $0.5L$ tergantung pada rasio L/R namun pada saat ini kisaran harga ditentukan sekitar $x_c=0.3L$. Ketika sebuah kapal masih bergerak dalam kondisi lintasan yang lurus ketika kemudi telah dibelokkan dan dipertahankan pada sudut β yang tetap



sebagaimana ditunjukkan pada Gambar.2.4, maka lintasan yang dihasilkan oleh gerakan kapal dapat dibagi menjadi tiga phase. Phase pertama dimulai ketika kemudi mulai digerakan sampai dengan sudut defleksi kemudi δ yang ditentukan, pada phase ini massa dan inersia kapal akan menahan kenaikan tiba-tiba kecepatan lateral, v , dan kecepatan rotasional, r , seketika itu. Dengan demikian, mula-mula $v = r = 0$, dan persamaan (2.24) serta (2.25) dapat diselesaikan untuk percepatan awal

$$\dot{r} = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_{\delta} + (N_{\dot{r}} - mx_G)Y_{\delta}}{(m - Y_{\dot{v}})(I_z - N_{\dot{r}}) - (Y_{\dot{r}} - mx_G)(N_{\dot{v}} - mx_G)}, \dots\dots\dots (2.26)$$

$$\dot{v} = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_{\delta} + (Y_{\dot{r}} - mx_G)N_{\delta}}{(m - Y_{\dot{v}})(I_z - N_{\dot{r}}) - (Y_{\dot{r}} - mx_G)(N_{\dot{v}} - mx_G)}, \dots\dots\dots (2.27)$$

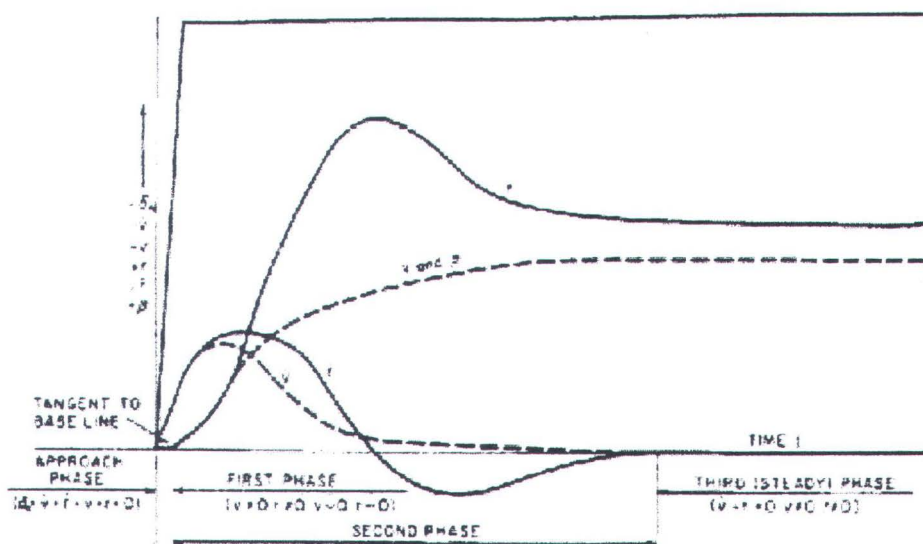


Gambar.2.5

Bila kita melihat kembali pada Gambar.2.5, kita dapat mengetahui bahwa suatu harga positif sudut kemudi (searah jarum jam, membelok ke arah portside untuk kemudi yang letaknya di stern) akan menghasilkan suatu harga positif bagi gaya sway ($Y_{\delta} > 0$) dan suatu harga negatif bagi momen yaw ($N_{\delta} < 0$). Dengan kata lain, kapal mula-mula seperti keluar dari lingkaran lintasan belok, Gambar.2.4.



Phase pertama ini hanya berjalan sebentar saja dikarenakan percepatan \dot{v} dan \dot{r} dengan cepat akan segera menaikkan kecepatan v dan r , selanjutnya kapal akan memasuki phase yang kedua. Pada phase kedua ini, percepatan yang timbul bersama-sama dengan kecepatan dan semua batasan-batasan pada persamaan (2.24) dan (2.25) keseluruhannya sama-sama penting. Ketika kita menganalisa belokan ke arah starboard, negatif δ , kita akan memiliki harga \dot{r} yang positif dan harga \dot{v} yang negatif, atau dengan kata lain kapal sedang mengalami perlambatan atau melakukan pengereman, sehingga membentuk suatu harga positif dari sudut drift, atau side slip angle β dan suatu harga positif dari gaya $Y_v v$ (untuk ke arah starboard sama sebagaimana arah dari belokan) dan kemungkinan gaya ini semakin besar sehingga mengalahkan gaya kemudi $Y_\delta \delta$ dan \dot{v} . Percepatan angular \dot{r} bisa jadi tetap bertahan sedikit lebih besar namun terkadang juga bisa menuju nol, Gambar.2.6.



Gambar.2.6



Setelah dimungkinkan adanya gerakan osilasi, maka phase kedua ini berakhir dengan disertai pembentukan kesetimbangan gaya-gaya yang bekerja. Ketika kesetimbangan ini sudah tercapai maka kapal akan bergerak membelok dengan radius yang konstan R sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar.2.4, dan hal ini kapal sudah mulai memasuki phase ketiga atau steady state dari gerakan turning. Di sini v dan r memiliki harga yang tidak sama dengan nol, namun \dot{v} dan \dot{r} sama dengan nol. Dengan menggunakan persamaan (2.24) dan (2.25), harga steady state v dan r dihitung sebagai berikut

$$r = \frac{Y_v N_\delta - N_v Y_\delta}{Y_v (N_r - m x_G U) - N_v (Y_r - m U)} \delta, \dots\dots\dots (2.28)$$

$$v = \frac{(Y_r - m U) N_\delta + (N_r - m x_G U) Y_\delta}{Y_v (N_r - m x_G U) - N_v (Y_r - m U)} \delta, \dots\dots\dots (2.29)$$

Dengan demikian dalam teori linear harga akhir dari kecepatan yaw dan sway adalah proporsional terhadap sudut defleksi kemudi δ . Jika kita hendak mempertimbangkan tanda pada persamaan (2.28) dan (2.29) dari sini kita dapat lihat bahwa suatu tanda negatif δ (kemudi berbelok menuju starboard) akan menghasilkan suatu harga r yang positif (menuju ke arah starboard) dan suatu harga v yang negatif (menuju ke arah portside atau keluar dari lintasan belok), dan resultan kecepatan kapal yang dihasilkan

$$V = U \cos \beta + v \sin \beta \approx U, \dots\dots\dots (2.30)$$

atau dengan kata lain, dalam teori linear, tidak terjadi adanya speed loss sehubungan dengan adanya gerakan belok atau turning dan harga akhir dari side slip angle β adalah



$$\tan \beta \approx \beta = -\frac{v}{U}, \dots\dots\dots(2.31)$$

dengan v diberikan oleh persamaan (2.29). Persamaan (2.31) menunjukkan bahwa drift angle β , berbanding langsung dengan δ . Dalam hal ini, tentu dengan merujuk pada batasan-batasan teori linear : besarnya δ artinya akan semakin besar pula harga β dan hal ini berpengaruh pula pada kenaikan tahanan kapal dengan disertai pengurangan kecepatan kapal dan tentu pula efektifitas kemudi.

Oleh karena adanya kecepatan angular r , dan ketika kapal bergerak dengan kecepatan konstan maka kapal akan membentuk suatu lintasan sirkular dengan radius

$$R = \frac{U}{r}, \dots\dots\dots(2.32)$$

dengan r ditentukan oleh persamaan (2.28). Hal ini dapat kita lihat bahwa steady turning radius R berbanding terbalik dengan delta, dimana drift angle β berbanding langsung dengan δ . Ini artinya bahwa titik pivot

$$x_c = R \sin \beta \approx R\beta, \dots\dots\dots(2.33)$$

yang mana mendekati harga konstan ketika harga R yang besar selalu diikuti dengan kecilnya harga β begitu juga sebaliknya. Titik pivot ini juga dapat dihitung dari realita bahwa sudut serang total sama dengan nol, yakni

$$v + rx_c = 0 \quad \Rightarrow \quad x_c = -\frac{v}{r} \approx \frac{\beta}{r} \approx R\beta, \dots\dots\dots(2.34)$$



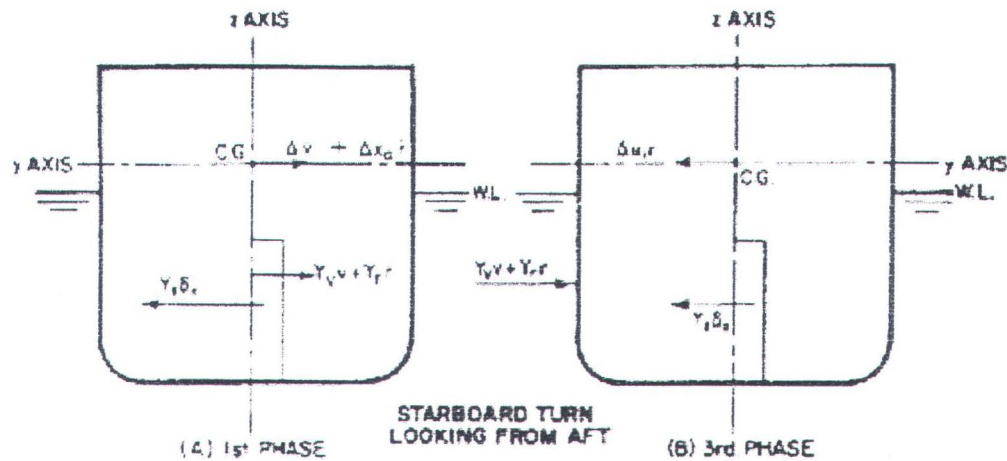
Hal ini perlu dicatat bahwa dengan menggunakan persamaan (2.32), (2.28) dan (2.34),

$$R = -\frac{1}{\delta} \frac{C}{Y_v N_\delta - N_v Y_\delta}, \dots\dots\dots (2.35)$$

dimana C adalah index stabilitas. Ketika $Y_v N_\delta - N_v Y_\delta > 0$ kita dapat mengetahui bahwa sebuah kapal yang stabil ($C > 0$), suatu sudut δ yang negatif (kemudi menuju starboard) akan menghasilkan suatu harga R yang positif (cikar atau belok mengarah ke starboard). Dengan demikian, seiring dengan kenaikan harga C maka R pun akan naik pula, sehingga apabila sebuah kapal sangat stabil maka akan menjadi sulit untuk melakukan belokan. Kita bisa perhatikan bahwa jika x_G harganya besar dan positif (misal LCG secara signifikan letaknya berada didepan midship), maka turning radius R akan menjadi besar untuk suatu harga δ yang diberikan. Untuk suatu kapal yang tidak stabil persamaan (2.35) menyatakan bahwa untuk $\delta < 0$ (kemudi menuju starboard) maka kapal akan berbelok menuju ke arah port side ($R < 0$), yang mana berarti bahwa analisis di atas tidaklah valid dan untuk suatu asumsi gerakan yang kecil telah mematahkan model linear sehingga kita perlu untuk menggunakan persamaan nonlinear. Sebelum melangkah ke non linear, mari kita lihat kembali pada sudut roll selama gerakan turning berlangsung. Sudut heeling pada saat gerakan turning berlangsung, ketika kemudi digunakan secara penuh untuk menghasilkan gerakan pada bidang- xy , maka gerakan juga terinduksi oleh cross coupling ke dalam gerakan bidang pitch



(xz) dan bidang roll (yz). Gerakan yang tidak diinginkan tentu khususnya adalah yang berada pada bidang roll. Perhatikan bila sebuah kapal melakukan gerakan belok ke arah starboard, Gambar.2.7.



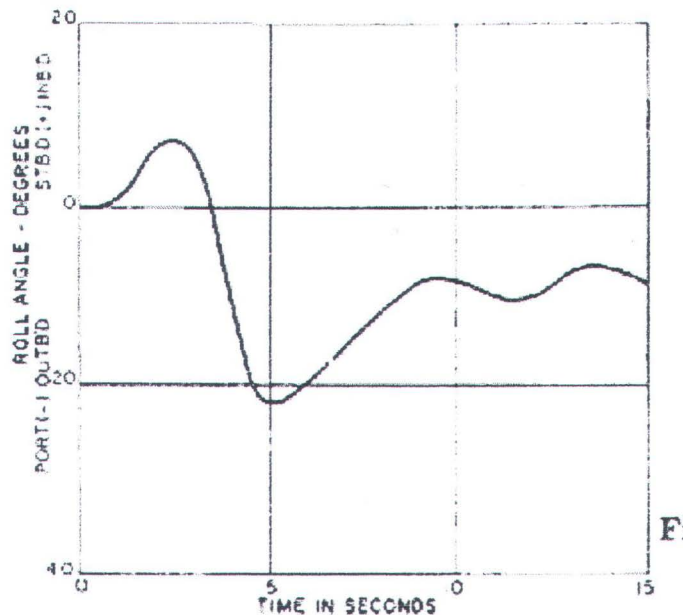
Gambar.2.7

Selama phase pertama dari gerakan belok, kesetimbangan gaya-gaya yang dihasilkan pada arah gerakan sway

$$Y_{\delta} \delta + (Y_{\dot{v}} - m) \dot{v} + (Y_{\dot{r}} - m x_G) \dot{r} = 0$$

Ketika $\delta < 0$, $\dot{v} < 0$ kita memiliki $Y_{\delta} \delta < 0$, $Y_{\dot{v}} \dot{v} > 0$, $Y_{\dot{r}} \dot{r}$ harganya kecil, $-m \dot{v} > 0$ (gaya inersial), dan $-m x_G \dot{r}$ harganya kecil. Maka dari itu, dengan memperhatikan momen yang terjadi terhadap pengaruh CG maka dapat kita ketahui bahwa sudut heeling mula-mula adalah menuju ke arah dalam dari lintasan (menuju ke starboard), Gambar.2.8. Selama phase ketiga ini berlangsung, kesetimbangan dari gaya-gaya yang bekerja akan menghasilkan

$$Y_{\delta} \delta + Y_v v + (Y_r - mU) r = 0$$



Gambar.2.8

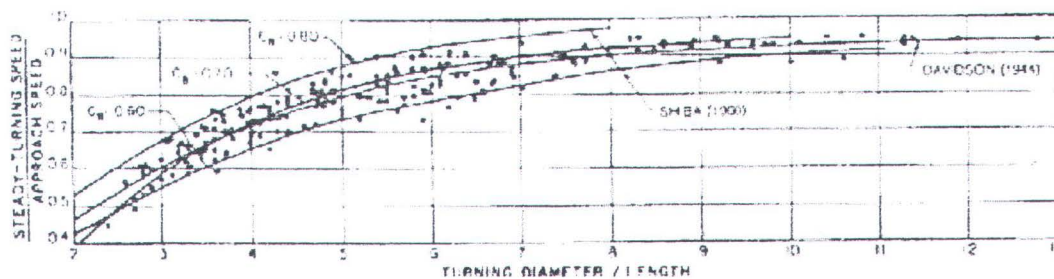
Kita juga dapat melihat bahwa hubungan $Y_v v + Y_r r$ ternyata lebih besar dibandingkan dengan $Y_\delta \delta$ untuk mempertahankan gerakan belok, sudut roll mengarah ke portside (outboard).

II.3. ASPEK NON LINEAR

Teori linear yang telah dibicarakan di atas berguna untuk menganalisa pengaruh variable-variabel kapal pada control fixed stability dan turning ability untuk kategori directionally stable ship dalam range linear. Meskipun demikian, hal ini menemui kegagalan ketika digunakan untuk memprediksi secara akurat karakteristik maneuver yang dapat dilakukan oleh kebanyakan kapal secara umum dan juga metode ini tidak dapat pula memprediksi suatu maneuver dari directionally unstable ship, hal ini dapat kita perhatikan dari persamaan (2.18), (2.19) dan (2.20) dimana dalam model linear, persamaan surge dipisahkan dari



sway dan yaw dimana hal ini berarti bahwa kecepatan maju kapal tidak terpengaruh oleh gerakan pada bidang horizontal tersebut. Pengurangan kecepatan kapal pada saat gerakan belok sedang berlangsung, sekalipun hal ini ada dan bisa menjadi relatif kecil untuk tipe tanker dengan kecepatan lambat namun hal ini dapat mencapai samapi dengan 40% untuk tipe kapal perusak dengan kecepatan tinggi.



Gambar.2.10

Gambar.2.10 menunjukkan tipikal pengurangan kecepatan ketika gerakan belok sedang berlangsung untuk berbagai harga $R/2L$ dan C_B yang berbeda. Untuk mengevaluasi pengaruh-pengaruh dari hal ini maka kita menggunakan bentuk nonlinear dengan cross coupling antara surge, sway dan yaw.

Salah satu teknik dalam penggunaan bentuk nonlinear pada persamaan gerak yang telah diturunkan sebelumnya adalah mempertahankan orde dua dan orde tiga dari kecepatan tergantung dari bentuk ekspansi Taylor (2.12). Bentuk orde tiga dan bentuk cross coupling dari kecepatan dan percepatan pada umumnya tidak disertakan semenjak dalam prakteknya pengaruh dari hal ini tidaklah terlalu signifikan. Dengan demikian persamaan (2.24) dan (2.25) dapat diubah menjadi

$$(m - Y_{\ddot{u}})\dot{v} - (Y_{\dot{r}} - m x_G)\dot{r} = Y_v v + (Y_r - m U)r + Y_{\delta} \delta + f'_2(u, v, r, \delta), \dots (2.36)$$

$$(I_z - N_{\dot{r}})\dot{r} - (N_{\dot{v}} - m x_G)\dot{v} = N_v v + (N_r - m x_G U)r + N_{\delta} \delta + f'_3(u, v, r, \delta), \dots (2.37)$$



dimana f'_2 dan f'_3 mengandung bentuk orde yang lebih tinggi pada, u, v, r, δ .

Untuk sampai pada kesimpulan bahwa persamaan untuk $f'_2(u, v, r, \delta)$ kita dapat perhatikan dikarenakan port side dan starboard bentuknya adalah simetris $Y(u) = 0$; $Y_u = Y_{uu} = Y_{uuu} = 0$, dimana notasi yang sama sebagaimana yang digunakan sebelumnya juga dipakai $Y_{uu} = \partial^2 Y / \partial u^2$ dan sebagainya. Demikian juga dengan pangkat dari v, r, δ juga sama dengan nol, sebagai contoh $Y_v = 0$ ketika gaya ke arah sway harus mengacu pada tanda dari kecepatan sway, sehingga hanya pangkat ganjil saja yang ada. Maka dari itu persamaan sway (2.36) menjadi

$$(m - Y_{\dot{u}})\dot{v} - (Y_r - m x_G)\dot{r} = f_2(u, v, r, \delta), \dots\dots\dots(2.38)$$

$$\begin{aligned} f_2(u, v, r, \delta) = & Y_0 + Y_{0u}(u - U) + Y_{0uu}(u - U)^2 + Y_v v + \frac{1}{6} Y_{vvv} v^3 + \frac{1}{2} Y_{vrr} v r^2 + \\ & \frac{1}{2} Y_{v\delta\delta} v \delta^2 + Y_{vu} v(u - U) + \frac{1}{2} Y_{vu u} v(u - U)^2 + (Y_r - mU)r + \frac{1}{6} Y_{rrr} r^3 + \\ & \frac{1}{2} Y_{rvv} r v^2 + \frac{1}{2} Y_{r\delta\delta} r \delta^2 + Y_{ru} r(u - U) + \frac{1}{2} Y_{ruu} r(u - U)^2 + Y_{\delta} \delta + \\ & \frac{1}{6} Y_{\delta\delta\delta} \delta^3 + \frac{1}{2} Y_{\delta vv} \delta v^2 + \frac{1}{2} Y_{\delta rr} \delta r^2 + Y_{\delta u} \delta(u - U) + \frac{1}{2} Y_{\delta uu} \delta(u - U)^2 + \\ & Y_{vr\delta} v r \delta \\ & \dots\dots\dots(2.39) \end{aligned}$$

Demikian juga halnya untuk persamaan yaw

$$(I_z - N_{\dot{r}})\dot{r} - (N_{\dot{v}} - m x_G)\dot{v} = f_3(u, v, r, \delta), \dots\dots\dots(2.40)$$



dimana pernyataan untuk $f_3(u, v, r, \delta)$ identik dengan (2.39) dengan pengecualian $(Nr - mx_G U)$ dari pada $(Yr - mU)$. Bentuk ekspresi di atas dengan subscript 0 menyatakan pengaruh dari propeller terhadap gaya lateral dan turning momen.

Persamaan untuk surge juga bisa ditulis sebagai berikut

$$(m - X_u)\dot{u} = f_1(u, v, r, \delta), \dots\dots\dots(2.41)$$

Dikarenakan simetris, $f_1(u, v, r, \delta)$ mengandung pangkat genap pada v, r, δ , sedangkan seluruh pangkat ganjil sama dengan nol, sebagai contoh $X_{vv} = 0$ ketika gaya surge yang sama harus menggerakkan badan kapal baik ke arah port side maupun ke arah starboard. Maka dari itu,

$$\begin{aligned} f_1(u, v, r, \delta) = & T - R + \frac{1}{2} v^2 + \left(\frac{1}{2} X_{vr} r^2 + mx_G \right) x^2 + \frac{1}{2} X_{\delta\delta} \delta^2 + \frac{1}{2} X_{vv} v^2 (u - U) + \\ & \frac{1}{2} X_{ru} r^2 (u - U) + \frac{1}{2} X_{\delta u} \delta^2 (u - U) + (X_{vr} + m)vr + X_{v\delta} v\delta + \\ & X_{r\delta} r\delta + X_{vu} vr(u - U) + X_{v\delta u} v\delta(u - U) + X_{r\delta u} r\delta(u - U) \\ & \dots\dots\dots(2.42) \end{aligned}$$

Bentuk T dan R menyatakan gaya dorong atau thrust propeller dan tahanan kapal, sebagaimana yang terbentuk pada phase ketiga dari gerakan belok. Pada bentuk persamaan (2.42) adalah model dari tambahan gaya dari surge (tahanan tambahan) sehubungan dengan gerakan kapal pada bidang horizontal dan gerakan kemudi. Bentuk-bentuk ini yang mengakibatkan pengurangan kecepatan selama kapal melakukan gerakan belok, terkecuali jika gaya dorong (propulsive thrust)



mengalami perubahan. Bentuk ruas sebelah kanan dari persamaan (2.39) dan (2.42) biasanya disebut dengan 'koefisien persamaan gerak' yang mana berlawanan dengan 'turunan hidrodinamik' untuk persamaan linear. Alasannya adalah bahwa hal tersebut di atas didapatkan melalui pencocokan kurva dari data sebenarnya.

Persamaan (2.38), (2.40) dan (2.42) dapat diselesaikan untuk mendapatkan percepatan $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ sebagai berikut

$$\begin{aligned}\dot{u} &= \frac{f_1(u, v, r, \delta)}{m - X_{\dot{u}}} \\ \dot{v} &= \frac{(I_z - N_r)f_2(u, v, r, \delta) + (Y_r - mx_G)f_3(u, v, r, \delta)}{(m - Y_{\dot{v}})(I_z - N_r) - (N_{\dot{v}} - mx_G)(Y_r - mx_G)}, \dots\dots\dots (2.43) \\ \dot{r} &= \frac{(m - Y_{\dot{v}})f_3(u, v, r, \delta) + (N_{\dot{v}} - mx_G)f_2(u, v, r, \delta)}{(m - Y_{\dot{v}})(I_z - N_r) - (N_{\dot{v}} - mx_G)(Y_r - mx_G)}\end{aligned}$$

Persamaan (2.43) dapat diselesaikan secara numerik untuk berbagai urutan waktu (time history) $\delta(t)$ dan dapat mensimulasikan gerakan maneuver kapal yang sebenarnya, secara akurat. Metode integrasi numerik yang paling mudah dan terkenal adalah metode Euler atau integrasi persegi panjang dimana harga dari u, v, r pada urutan waktu $t + \Delta t$ didapatkan dari data u, v, r, δ pada urutan waktu t dengan menggunakan ekspansi orde pertama yang sederhana; yakni

$$\begin{aligned}u(t + \Delta t) &= u(t) + \dot{u}(t)\Delta t, \\ v(t + \Delta t) &= v(t) + \dot{v}(t)\Delta t, \dots\dots\dots (2.44) \\ r(t + \Delta t) &= r(t) + \dot{r}(t)\Delta t,\end{aligned}$$

Metode ini digunakan untuk mendapatkan akurasi yang memadai untuk bentuk persamaan diferensial yang ada dikarenakan percepatan $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ terlalu lambat jika



diturunkan terhadap waktu, hal ini disebabkan terlalu besarnya massa atau inersia sebuah kapal dibandingkan dengan relatif kecilnya gaya dan momen yang dihasilkan oleh sebuah kemudi. Untuk suatu akurasi yang diinginkan akan dapat secara mudah dihasilkan dengan perhitungan menggunakan step waktu Δt yang lebih kecil. Sehingga turunan $u(t)$, $v(t)$, $r(t)$ dapat dipakai untuk mendapatkan orientasi kapal $\psi(t)$ dan posisi inersial $x_0(t), y_0(t)$ dengan menggunakan (mengacu pada gambar 2)

$$\begin{aligned}\dot{\psi} &= r \\ \dot{x}_0 &= u \cos \psi - v \sin \psi \quad , \dots\dots\dots (2.45) \\ \dot{y}_0 &= u \sin \psi + v \cos \psi\end{aligned}$$

dan integralnya adalah

$$\begin{aligned}\psi(t + \Delta t) &= \psi(t) + \dot{\psi}(t)\Delta t \\ x_0(t + \Delta t) &= x_0(t) + \dot{x}_0(t)\Delta t \quad , \dots\dots\dots (2.46) \\ y_0(t + \Delta t) &= y_0(t) + \dot{y}_0(t)\Delta t\end{aligned}$$

Maka dari persamaan (2.46) di atas, akan didapat sudut heading dan posisi gerakan kapal pada koordinat kartesian untuk setiap satuan waktu.



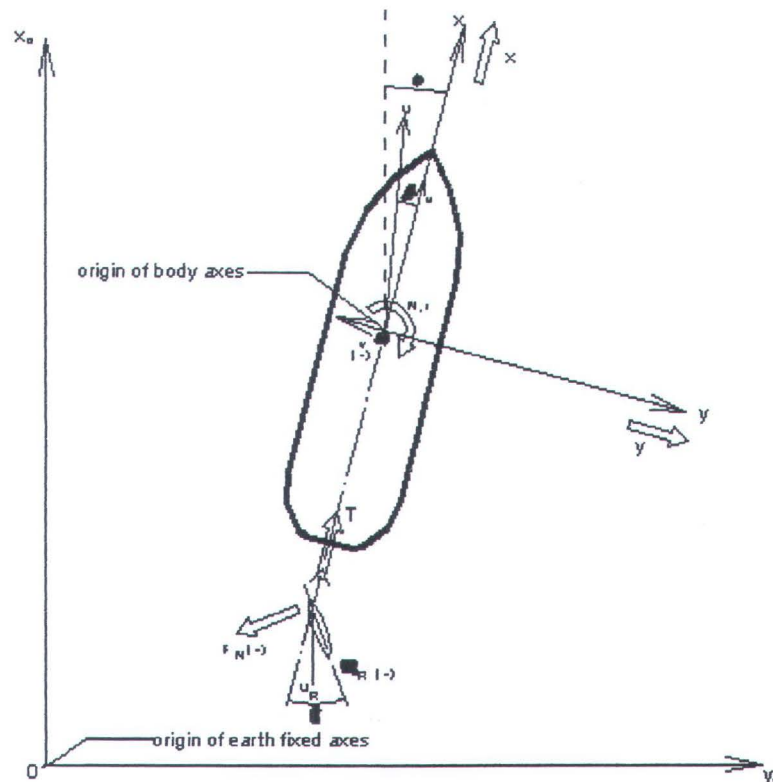
BAB III

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Dalam pengujian maneuvering sebuah model di kolam uji atau maneuvering and seakeeping ocean basin (MSOB), berbagai macam model matematis untuk menjelaskan gerak maneuver kapal telah digunakan untuk menganalisa captive model test dan mengestimasi kemampuan maneuver suatu kapal. Dengan begitu, hal ini secara jelas penting untuk menentukan model matematis yang tepat untuk setiap problem yang sedang dihadapi, karena data atau informasi yang diambil dari captive model test berhubungan erat dengan karakter dari model matematisnya itu sendiri. Hal ini diyakini benar sebagaimana perturbation model semisal Abkowitz's model terkadang lebih berguna untuk memprediksi maneuverability dari suatu kapal yang spesifik pada kondisi tertentu, tapi beberapa model seperti ini menjadi tidak memuaskan untuk masalah yang lebih kompleks. Sebagai contoh, untuk memilih luas kemudi yang optimal kita harus menggunakan seri model captive test dari model kapal yang dikombinasikan dengan beberapa kemudi dengan luasan yang berbeda-beda. Kita tidak dapat mengestimasi secara penuh efek dari luas kemudi terhadap kemampuan maneuver yang digunakan sebagai perturbation model. Contoh yang lain misal dalam penekanan pada maneuverability kapal dengan perubahan kecepatan yang dialaminya, pada kasus ini gaya hidrodinamik yang bekerja pada lambung kapal berubah-ubah sesuai dengan perubahan kecepatan kapal. Namun gaya yang



disebabkan oleh kemudi dipengaruhi oleh perputaran propeller sesuai dengan kecepatan kapal. Sehingga pada perturbation model, seluruh gaya yang bekerja pada kapal dapat didekati dengan deret Taylor namun tidak dapat menjelaskan seluruh gaya dalam bentuk yang sederhana serta membutuhkan hubungan bilangan yang banyak sebagai hasilnya. Pengujian untuk model kapal di kolam uji yakni dengan ditarik secara lurus dan oblique, keduanya dilaksanakan secara penuh dan pengujian juga disertai dengan gerakan yawing begitu setelahnya. Sistem koordinat yang digunakan ditunjukkan pada Gambar.3.1.



Gambar.3.1

Setting titik originnya berada pada midship. Setiap penjelasan dari gaya dan momen hidrodinamik mengacu pada gambar tersebut. Persamaan gerak dari model kapal dalam captive model test dapat dinyatakan sebagai berikut :



$$\begin{aligned}m' \left(\dot{u}' - v' r' - x'_G r'^2 \right) &= X' + X'_E \\m' \left(\dot{v}' + u' r' + x'_G \dot{r}' \right) &= Y' + Y'_E \\(I'_{zz} + m' x'^2_G) \dot{r}' + m' x'_G \left(\dot{v}' + u' r' \right) &= N' + N'_E\end{aligned}$$

Dimana X' , Y' , N' menotasikan gaya dan momen hidrodinamik dari midship dan X'_E , Y'_E , N'_E adalah gaya dan momen yang dikenakan kepada kapal melalui dynamometer captive test. Pengukuran semua item selama pengujian meliputi lima gaya dan satu momen yakni gaya longitudinal dan lateral X'_E , Y'_E dan momen N'_E , thrust T' , gaya normal dan tangensial yang bekerja pada kemudi F'_N , F'_T . Pengujian dilaksanakan hanya pada kondisi sarat penuh. Meskipun berbagai macam kondisi sebagaimana yang ditunjukkan pada table 2 sudah dipilih. Dengan memperhatikan berbagai bentuk pembebanan pada propeller dan memperhatikan open water karakteristik setiap bagian dari sebuah kapal serta interaksi diantara mereka. Setiap kondisi dinamakan sebagai *Kondisi (HPR)*, *Kondisi (H)* dan sebagainya. *(HPR)* berarti sebuah model kapal dengan sebuah propeller dan sebuah kemudi sedangkan *(H)* adalah notasi dari lambung kapal yang mulus. Untuk memilih kombinasi putaran propeller dan kecepatan kapal, rasio apparent advance $J_s = \frac{U}{nD}$ digunakan sebagai parameter, karena gaya hidrodinamik yang tidak berdimensi diharapkan dapat mewakili sebagai fungsi J_s . Dalam arti kata, hal ini sehubungan dengan fakta bahwa kesamaan dari aliran fluida air adalah tetap bila J_s dianggap konstan. Kombinasi dari kecepatan belok dan drift angle



pada sebuah kondisi pengujian ditunjukkan pada gambar 3. Sebagai contoh, beberapa harga pada sudut kemudi dikenakan pada tiap pengujian.

Menurut proposal MMG, gaya longitudinal X dijelaskan sebagai berikut :

$$X' = X'(u') + X'_{\dot{u}} \dot{u}' + X'_{vv} v'^2 + \left(X'_{vr} - Y'_{\dot{v}} \right) v' r' + X'_{rr} r'^2 + (1-t) T' + F'_N \sin \delta + F'_T \cos \delta \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana dari kelima suku pertama tersebut adalah open water karakteristik dari sebuah lambung kapal dan tiga suku berikutnya menunjukkan kontribusi dari propeller dan kemudi. $X'_{\dot{u}}$ adalah koefisien added mass pada arah memanjang kapal dan dapat diestimasi dari kurva Motora sebagai berikut :

$$-X'_{\dot{u}} = m'_x = 0.05 m'$$

Tahanan dari sebuah lambung yang mulus dan licin $X'(u')$ diturunkan dari pengujian tahanan dengan pemanfaatan PMM, tahanan dapat dijelaskan sebagai berikut :

$$X'(u') = X'_{uu} u'^2$$

Kontribusi dari gabungan yaw dan sway dominan dalam peningkatan tahanan serta koefisien added mass pada arah melintang.

$-Y'_{\dot{v}} = m'_y$ sangat jelas besar dibandingkan dengan X'_{vr} . Tapi X'_{vr} berkisar sekitar $0,2 m'_y$ pada model kapal (10) dan tidak boleh diabaikan kecuali pada kasus dimana akurasi kasar yang cukup dibutuhkan. Dari data empiris yang telah



ada, rasio dari $\left(X'_{vr} - Y'_{\dot{v}} \right) / \left(-Y'_{\dot{v}} \right)$ menjadi besar seiring dengan penambahan pada fullness dari kapal dan harganya berkisar antara 0.5 sampai dengan 1.0.

Propeller open water test dilakukan pada kasus dimana $u_p > 0$ dan $n > 0$. Koefisien thrust K_T dicari dari pengujian yang dinyatakan sebagai berikut :

$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = k_0 + k_1 J_p + k_2 J_p^2, \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana $J_p = u_p / nD$,

$$k_0 = 0.463, k_1 = -0.251, k_2 = -0.124 \text{ (untuk model kapal series 60)}$$

Seluruh karakteristik diasumsikan tetap utamanya pada aliran oblique jika kecepatan axial dari aliran di atas dipakai $u_p(11)$. Wake fraction efektif $(1 - w_p)$ pada posisi atau letak propeller dan diestimasi dengan metode thrust identity. Wake fraction dari model kapal terlihat menjadi independen pada pembebanan propeller, tapi hal ini secara jelas dipengaruhi oleh gerak lateral. Secara umum pada kasus untuk kapal dengan ukuran sebenarnya, efek pembebanan propeller pada wake fraction tidak diabaikan. Variasi dari wake fraction disebabkan oleh gerakan lateral adalah tidak sederhana, khususnya saat gerakan kecil dan memiliki beberapa ketidak simetrisan pada kasus single screw. Melihat pada pokok pembicaraan utama, wake fraction dinyatakan sebagai berikut

$$(1 - w_p) = (1 - w_{p0}) \left(1 + \tau (v'_p + c_p |v'_p| v'_p)^2 \right), \dots\dots\dots (3.3)$$

dimana $v'_p = v' + x'_p r'$

$(1 - w_{p0})$ adalah wake fraction pada kondisi lurus maju kedepan.



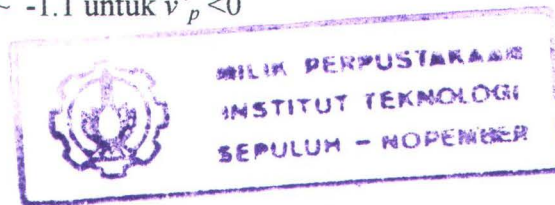
Memperhatikan kesimetrisan wake dan menurut koefisien X'_p sebagai sebuah konstanta experimental, harga berikut ini diperoleh dengan metode kuadrat terkecil :

$$(1 - w_{p0}) = 0.68 \sim 0.69 ;$$

$$\tau = 1.9 \sim 2.0, \quad c_p = -0.6 \sim -0.7 \text{ untuk } v'_p > 0$$

$$\tau = 5.7 \sim 5.8, \quad c_p = -1.0 \sim -1.1 \text{ untuk } v'_p < 0$$

$$x'_p = -0.42$$



Ini adalah suatu kesimpulan yang menarik bahwa wake fraction dapat dinyatakan sebagai sebuah fungsi kecepatan drift geometrik pada sebuah propeller, untuk X'_p berhubungan hanya dengan koordinat- x posisi propeller. Sesuai dengan hasil estimasi dengan menggunakan metode thrust identity untuk model series 60, ternyata kesesuaian masih belum cukup pada kasus $J_s = 0.5$, karena signifikan asimetris disebabkan oleh pembebanan yang extrem berlebihan pada propeller. Maka dari itu dapat disimpulkan paling tidak bahwa persamaan (3.3) dapat secara fair menyatakan variasi dari wake fraction pada kondisi mula-mula gerakan dan perhatian lebih juga dibutuhkan untuk kondisi extra ordinary yang lain. Thrust deduction factor dipengaruhi oleh pembebanan propeller, namun perubahan $(1 - t)$ disebabkan gerakan lateral yang kelihatannya diabaikan. Permasalahan yang tersisa untuk gaya longitudinal adalah kontribusi kemudi, dengan memperhatikan efek dari sudut jantra kemudi pada self propulsion factor, hal ini dibuktikan dari hasil tes sudut kemudi pada kondisi lurus ke depan dimana beberapa diantaranya diabaikan kecil jika sudut tersebut masih dalam range konvensional katakan 20



derajat, hal ini juga ditunjukkan bahwa gaya tangensial pada kemudi dianggap cukup kecil jika dibandingkan dengan komponen longitudinal dari gaya normal pada kemudi. Pada akhirnya kontribusi kemudi dihubungkan secara kasar sama dengan komponen longitudinal gaya normal yang bekerja pada kemudi. Gaya yang ditimbulkan oleh kemudi sebenarnya adalah yang paling penting untuk dipertimbangkan dalam maneuverability sebuah kapal. Gaya di atas ini bukan satu-satunya yang merupakan gaya yang bekerja pada kemudi, karena hal ini masih ada gaya interferensi kemudi, jumlahnya signifikan yang bekerja pada lambung. Gaya normal kemudi dinyatakan sebagai berikut

$$F'_N = \frac{1}{2} \rho A_R U_R^2 f_\alpha(\Lambda) \alpha_R / \frac{1}{2} \rho L^2 U^2, \dots\dots\dots(3.4)$$

Hal ini menyatakan bahwa, gaya normal yang dinyatakan sebagai kombinasi open water karakteristik adalah kecepatan dari aliran efektif yang datang dan sudut dari aliran efektif yang datang pada kemudi, sekarang open water karakteristik dapat diestimasi dengan perhitungan teoritis dan metode empiris, seperti halnya rumus

Fuji :

$$f_\alpha(\Lambda) = \frac{6.13 \Lambda}{\Lambda + 2.25}, \dots\dots\dots(3.5)$$

Untuk mengestimasi kecepatan aliran efektif yang datang pada kemudi, beberapa harga untuk sudut jantra kemudi diambil pada setiap pengujian dan gaya normal yang bekerja pada kemudi juga diukur, dengan membandingkan perbedaan antara gaya normal yang terukur dengan beberapa open water karakteristik maka kecepatan aliran efektif yang datang dapat dihitung. Dengan kata lain,



mengasumsikan kemudi sebagai sebuah pengukur arus (sort current meter) dengan demikian kecepatan pada kemudi akan dapat diukur. Sudut aliran efektif yang datang juga dapat diestimasi dengan cara yang sama namun sebagai sudut dimana gaya normal yang bekerja pada kemudi menjadi sama dengan nol.

III.1 KLASIFIKASI DATA DAN FUNGSINYA

Setelah data primer dan data sekunder didapatkan maka masing-masing data tersebut diklasifikasikan dan diolah menurut kebutuhan penyusunan program simulasi model. Berikut ini adalah rincian klasifikasi data dan bentuk data:

A. Data Primer

Data utama kapal yang meliputi:

- ❖ Panjang kapal (L)
- ❖ Lebar kapal (B)
- ❖ Sarat kapal (T)
- ❖ Massa kapal (m)
- ❖ Momen inersia massa terhadap sumbu zz (I_{zz})
- ❖ Koefisien blok (cb)
- ❖ Letak titik berat memanjang kapal (LCG)
- ❖ Koefisien turunan hidrodinamik

Fungsinya adalah untuk merepresentasikan pengaruh komponen lambung kapal terhadap respon gerak maneuver kapal



Data utama propeller yang meliputi

- ❖ Thrust deduction factor ($1 - t$)
- ❖ Wake fraction propeller ($1 - w_p$)
- ❖ Diameter propeller (D_p)
- ❖ Luas area daun propeller (FA)
- ❖ Koefisien torsi pada open water characteristic (K_Q)
- ❖ Koefisien thrust pada open water characteristic (K_T)

Fungsinya adalah untuk merepresentasikan pengaruh komponen propeller terhadap respon gerak maneuver kapal

Data utama kemudi yang meliputi

- ❖ Luas daun kemudi (A_R)
- ❖ Efektifitas kemudi pada kecepatan aliran (U_R)
- ❖ Efektifitas kemudi pada sudut aliran (α_R)
- ❖ Aspek rasio daun kemudi (Λ)
- ❖ Kecepatan gerak daun kemudi (steering rate)
- ❖ Sudut maksimum daun kemudi (δ_{max})

Fungsinya adalah untuk merepresentasikan pengaruh komponen daun kemudi terhadap respon gerak maneuver kapal



B. Data Sekunder

Bentuk data sekunder bentuknya variabel input adalah sebagai berikut :

1. Kecepatan mula-mula kapal (U_0)
2. Putaran awal propeller (RV_0)
3. Drift angle mula-mula (BET_0)
4. Kecepatan yawing awal (R_0)
5. Sudut kemudi mula-mula (D_0)
6. Heading angle mula-mula (P_0)
7. Posisi awal kapal terhadap sumbu koordinat kartesian (X_0, Y_0)

C. Fungsi Data

Untuk kebutuhan pengembangan program simulasi, data yang dibutuhkan adalah data primer yang terdiri dari data karakteristik komponen lambung kapal pada berbagai harga angka Froude, velocity advance dan rasio kedalaman perairan, data karakteristik komponen propeller dan data karakteristik komponen daun kemudi. Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data mengenai kondisi awal saat kapal mulai melakukan gerakan maneuver.



III.2 PERSIAPAN DATA INPUT

Penggabungan captive model test dan metode simulasi dengan menggunakan persamaan non linear adalah merupakan suatu metode yang paling baik untuk memprediksi kemampuan controllability sebuah kapal. Pendekatan dengan metode seperti ini pada awalnya memerlukan biaya yang cukup banyak dibandingkan dengan free turning test menggunakan model, namun dilain sisi bilamana koefisien hidrodinamik sudah di dapat dari perhitungan model test data maka berbagai macam bentuk prediksi yang luas mengenai maneuvering dan operasional kapal dapat dilakukan secara tepat dan ekonomis hanya dengan memasukan data-data pengaruh lingkungan dari rute kapal yang akan dilalui, sistem kontrol kapal serta gaya luar. Struktur pemrograman dapat dibagi dalam tiga tahapan, yaitu: tahap *inputing* data yang diketahui, proses perhitungan dengan memakai model matematis yang digunakan saat ini dan tahapan penampilan atau *displaying* output.



III.3.1 DATA KARAKTERISTIK LAMBUNG KAPAL

Main Particular of Ship

Model	Unit	A		B		C		D		E		F	
Project Name		PCC-RR742		P.C.C		SR-108		P.C.C		Esso Osaka		Project-1	
Scale ratio		1	58	1	45.73	1	58.33	1	45	1	108.3	1	
Hull		Model	Ship	Model	Ship	Model	Ship	Model	Ship	Model	Ship	Model	Ship
Lpp	m	3.000	174.00	3.630	166.00	3.000	174.99	3	135	3.000	324.9		219
breadth	m	0.537	31.13	0.640	29.27	0.440	25.67	0.5367	24.1515	0.489	52.9587		43
Draft	m	0.150	8.70	0.197	9.01	0.163	9.51	0.1367	6.1515	0.201	21.7683		12.3
Displ	m3	0.133	25940.92	0.257	24553.83	0.122	24424.94	0.1204	10971	0.244	310503.2		95327.35
Wsa	m2	1.784	103.48	2.719	124.34	1.642	95.78		0				
Lcb from Midship (%Lpp)		0.019	3.29	0.024	3.98	0.014	2.45	0.014	1.89	0.030	9.75		0.00
Coeff. Block		0.551	0.55	0.561	0.56	0.572	0.57	0.547	0.547	0.829	0.829	0.823	0.823
lzz =1.24*(D/g)*((1+CB^4.5)*(L^2+B^2)			0.62		0.67		0.57		0.570456		1.1330401		1.135830508
XG	%Lpp	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0
XP	%Lpp	50%	87	50%	82.99995	50%	87.495	50%	67.5	50%	162.45	50%	109.5
XR	%Lpp	53%	92.22	53%	87.979947	53%	92.7447	53%	71.55	53%	172.197	53%	116.07
Ship Mass = m	Ton		26621.20		25197.73		25065.46		11258.71		318645.9		97827.22
			9.8602064		10.748408		9.1272961		9.1272961		18.128642		18.17328813

Sumber:

Murdijanto, Hiroshima University, 1986



III.3.2 DATA KOEFISIEN TURUNAN HIDRODINAMIK

Model	A								B			C					
d/H	50	50	50	667	667	883	883	833	50	667	833	50	50	500	667	833	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	1	2	3	4	5	6
Fn	55.33	55.33	55.33	55.33	55.33	55.33	55.33	55.33	50.27	50.27	50.27	55.33	55.33	55.33	55.33	55.33	
Vs	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	4.44	3.94	3.94	3.94	4.46	4.46	4.46	4.46	4.46	
Js	281.00	281.00	375.00	375.00	281.00	281.00	281.00	375.00	635.60	635.60	635.60	635.60	865.00	865.00	865.00	865.00	865.00
rpm	2.55609	2.5561	1.9154	1.91537	2.5561	2.55609	2.5561	1.9154	1.1499	1.1499	1.1499	1.0829	0.7957	0.7957	0.7957	0.7957	
m'	9.87			9.87		9.87			10.73	10.73	10.73	9.02		9.02	9.02	9.02	
mx/m	40.53			58.80		68.90			24.04	101.38	120.017	29.93		54.77	62.97	90.24	
my/m	640.30			1400.2		2667.0			827.3	1337.9	2411.3	91.0		1064.6	1663.0	3226.2	
Kzz'	190.70			219.6		254.8			311.5	332.9	455.3	211.7		193.1	229.3	262.8	
X'uu	-1.13			-1.33		-1.54			-0.93	-1.31	-1.46	-0.90		-0.97	-1.03	-1.28	
X'vv	-4.02			-5.56		4.09			-4.49	5.16	16.47	-3.05		-1.90	-5.18	-17.58	
X'vvvv	7.68			18.42		-5.63			-0.39	-23.690	-53.56	7.39		3.28	23.02	88.66	
X'rr	0.27					1.20			0.12	0.39	0.70	0.02		0.09	0.16	0.24	
X'vr+my'	2.44			7.34		8.66			4.858	9.498	9.468	2.56		6.73	8.62	9.97	

Sumber:

Murdiyanto, Hiroshima University, 1986



III.3.2 DATA KOEFISIEN TURUNAN HIDRODINAMIK (Lanjutan)

Model	A								B			C					
d/H	50	50	50	667	667	883	883	833	50	667	833	50	50	500	667	833	
	1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	1	2	3	4	5	6
Y'v'	-6.32			-13.82		-26.32			-8.88	-14.35	-25.88	-8.21		-9.60	-15.00	-29.10	
Y'v	-13.39	-17.38		-24.73	-30.70	-66.13	-66.88	-81.86	-15.30	-31.45	-82.52	-15.30	-15.34	-25.71	-28.23	-101.30	-86.17
Y'vvv	-45.31	-38.23		-463.80	-526.30	-380.00	-406.00	-414.50	-79.21	-413.90	-362.20	-91.08	-85.50	-166.70	-487.60	-480.30	-532.00
Y'vvvv				1052.0	1203.0	1069.0	-717.1	1143.0		789.5	1032.0	0.0			997.2	1811.0	1722.0
Y'r'	-0.55			-0.63		-1.92			-0.48	-0.41	-2.07	-0.56		-0.35	-0.34	-1.72	
Y'r	1.43			2.70		-1.17			0.61	-0.14	-5.81	2.42		2.00	1.91	3.04	
Y'rrr	-0.68			-5.98		-4.56			-1.19	-1.04	-2.19	-1.02		-0.88	-1.59	-3.18	
Y'vrr	-14.70			-63.94		-55.22			-27.30	-50.78	-65.62	-15.21		-27.68	-34.24	-57.34	
Y'vvr	-16.70			-85.40		-107.40			-3.51	-24.88	-92.14	-11.29		-17.12	-25.51	-80.58	
N'v'																	
N'v	-4.73	-4.25	-4.40	-9.63	-8.04	-18.81	-11.85	-16.92	-4.93	-11.26	-25.94	-3.74	-3.83	-5.29	-6.22	-16.04	-17.81
N'vvv	-3.14	-2.26	-1.94	-37.06	-8.03	-94.31	-154.80	-110.80	-17.64	-17.64	-71.72	-15.92	-13.69	-23.89	-49.85	-216.30	-152.80
N'vvvv				63.64	-63.50	340.40	453.50	339.20		141.40	299.20	0.00			35.53	724.00	514.40
N'r'	-0.36			-0.476		-0.64			-0.39	-0.44	-0.82	-0.40		-0.34	-0.47	-0.62	
N'r	-2.15			-2.604		-5.39			-3.54	-5.80	-0.86	-2.22		-3.59	-4.86	-4.95	
N'rrr	-1.41			-3.882		-3.60			-0.62	-0.86	-1.06	-1.47		-0.99	-0.89	-3.40	
N'vrr	-2.22			-8.880		-15.62			-5.89	-11.29	-12.80	-3.46		-4.12	-4.62	-12.05	
N'vvr	-24.87			-63.600		-77.21			-15.43	-28.32	-32.13	-12.70		-16.69	-23.33	-38.85	



III.3.3 DATA KARAKTERISTIK PROPELLER

Main Particular of Ship													
Model	Unit	A		B		C		D		E		F	
Project Name		PCC-RR742		P.C.C		SR-108		P.C.C		Esso Osaka		Project-1	
Scale ratio		1	58	1	45.73	1	58.33	1	45	1	108.3	1	
Propeller													
Diameter	m	0.1067	6.1869	0.1180	5.3961	0.1110	6.4746	0.0950	4.2750	0.0840	9.0972		7.3
Pitch ratio		0.8698		0.9068		1.0550		0.7750		0.7050			
Number of Blade		5		5		5				5			
KT													
	C1		0.3939		0.4282		0.8035						
	C2		-0.2822		-0.268		-0.4402						
	C3		-0.1495		-0.1336		-0.1598						
KQ													
	K1		0.4996		0.5858		0.5099						
	K2		-0.1844		-0.2332		-0.3427						
	K3		-0.2841		-0.2444		-0.0968						
1-T		0.1639	0.8361	0.1652	0.8348	0.1666	0.8334		1.0000		1.0000	0.2626	0.7374
1-W		0.2342	0.7658	0.236	0.7640	0.238	0.7620		1.0000		1.0000	0.3752	0.6248

Sumber:

Murdijanto, Hiroshima University, 1986

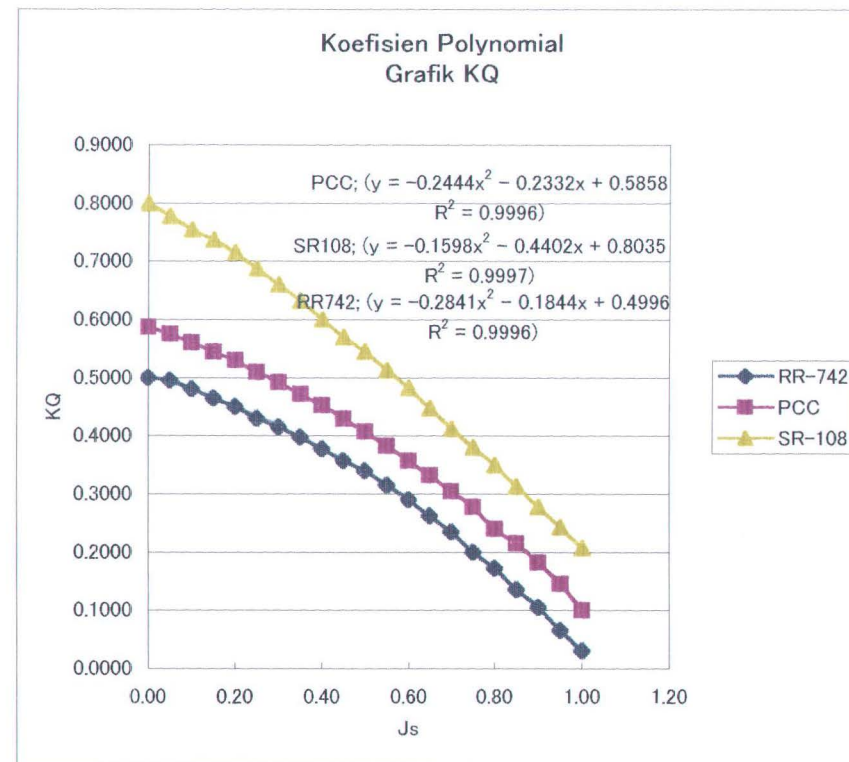
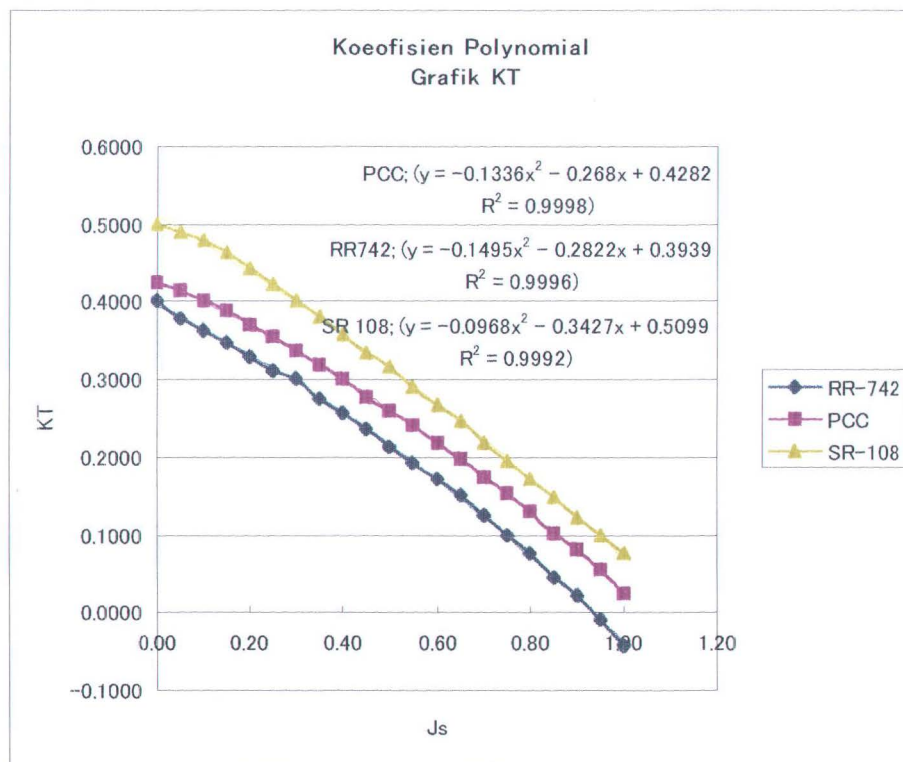


III.3.4 DATA OPEN WATER CHARACTERISTIC PROPELLER

Model									
J	A			B			C		
	PCC-RR742			P.C.C			SR-108		
	K_T	K_Q	η_0	K_T	K_Q	η_0	K_T	K_Q	η_0
0.00	0.4000	0.5000	0.000	0.4250	0.5875	0.0000	0.5000	0.8000	0.0000
0.05	0.3775	0.4950	0.050	0.4150	0.5750	0.0600	0.4900	0.7775	0.0500
0.10	0.3625	0.4800	0.105	0.4000	0.5600	0.1175	0.4775	0.7550	0.1000
0.15	0.3475	0.4650	0.158	0.3875	0.5450	0.1700	0.4625	0.7375	0.1500
0.20	0.3300	0.4500	0.203	0.3700	0.5300	0.2175	0.4425	0.7150	0.1950
0.25	0.3100	0.4300	0.258	0.3550	0.5100	0.2625	0.4225	0.6875	0.2450
0.30	0.3000	0.4150	0.300	0.3375	0.4925	0.3100	0.4000	0.6600	0.2900
0.35	0.2750	0.3975	0.353	0.3175	0.4725	0.3550	0.3800	0.6325	0.3350
0.40	0.2575	0.3775	0.405	0.3000	0.4525	0.4000	0.3575	0.6000	0.3775
0.45	0.2350	0.3575	0.445	0.2775	0.4300	0.4125	0.3350	0.5700	0.5725
0.50	0.2125	0.3400	0.483	0.2600	0.4075	0.4775	0.3150	0.5450	0.4550
0.55	0.1925	0.3150	0.520	0.2400	0.3825	0.5075	0.2900	0.5125	0.4925
0.60	0.1725	0.2900	0.560	0.2175	0.3575	0.5425	0.2675	0.4825	0.5250
0.65	0.1500	0.2625	0.595	0.1975	0.3325	0.5725	0.2450	0.4475	0.5550
0.70	0.1250	0.2350	0.625	0.1750	0.3050	0.5925	0.2175	0.4125	0.5825
0.75	0.1000	0.2000	0.665	0.1525	0.2775	0.6000	0.1950	0.3800	0.5975
0.80	0.0750	0.1725	0.678	0.1300	0.2400	0.6000	0.1725	0.3500	0.6050
0.85	0.0450	0.1350	0.605	0.1025	0.2150	0.5925	0.1475	0.3125	0.5975
0.90	0.0225	0.1050	0.475	0.0800	0.1825	0.5700	0.1225	0.2775	0.5775
0.95	-0.0100	0.0650	0.263	0.0550	0.1450	0.4825	0.1000	0.2425	0.5450
1.00	-0.0425	0.0300	0.000	0.0250	0.1000	0.3500	0.0750	0.2075	0.5050



III.3.4 DATA OPEN WATER CHARACTERISTIC PROPELLER (Lanjutan)





III.3.5 DATA KARAKTERISTIK DAUN KEMUDI

Main Particular of Ship

Model	Unit	A		B		C		D		E		F	
Project Name		PCC-RR742		P.C.C		SR-108		P.C.C		Esso Osaka		Project-1	
Scale ratio		1	58	1	45.73	1	58.33	1	45	1	108.3	1	
Rudder													
Rudder Area	m ²	0.010	32.267	0.02	41.825	0.01	34.024	0.010	19.424	0.0106	124.608	0.0106	0.000
Area Ratio		1	46.9141	1	35.500	1	50.900	1	39.830	1	56.660	1	56.660
Aspect ratio (Kr)		1.513		1.109		1.83		1.177		1.539		1.539	
1/Ar/(L*d)		46.914		35.756		48.900		42.754		56.758		53.714	
Rudder Height	M	6.987		6.811		7.891		4.781		13.848		0.000	
Fa(gamma)=6.13Kr/(Kr+2.25)		2.465		2.024		2.749		2.105		2.490		2.490	

Sumber:

Murdijanto, Hiroshima University, 1986



III.4 DATA HASIL OUTPUT PROGRAM

Data output yang dihasilkan oleh running program adalah berupa data statistik yakni durasi maneuver sampai dengan kondisi steady state, perubahan sudut kemudi dari sudut mula-mula sampai dengan posisi commanded angle, heading angle, kecepatan dan percepatan sudut yawing, perubahan kecepatan maju kapal, letak posisi kapal relatif kapal dari posisi semula, gaya normal yang bekerja pada kemudi dan gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller dari masing-masing jenis maneuver test. Selanjutnya setelah data-data tersebut diperoleh kemudian diolah dengan mencari distribusi probabilitasnya serta menguji distribusi tersebut.

III.5 UJI t-TEST

Untuk memberikan kesimpulan bahwasannya hasil running dari simulasi yang dilakukan adalah benar maka harus dilakukan uji t-Test. Prosedur ini digunakan untuk menguji hasil 1 sampel data yang berbentuk kuantitatif. Dengan menguji sampel tersebut akan dapat disimpulkan apakah data yang dihasilkan tersebut memenuhi atau tidak. Uji pada hasil running simulasi adalah uji t-Test untuk time overshoot, jarak overshoot pada zigzag maneuver dan jarak advance, transfer serta tactical diameter pada turning circle maneuver. Uji ini menggunakan bantuan software SPSS versi 10 untuk *one sample t-Test*.

Hipotesis satu arah :

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_0 : \mu > \mu_0 \dots\dots\dots(3.6)$$

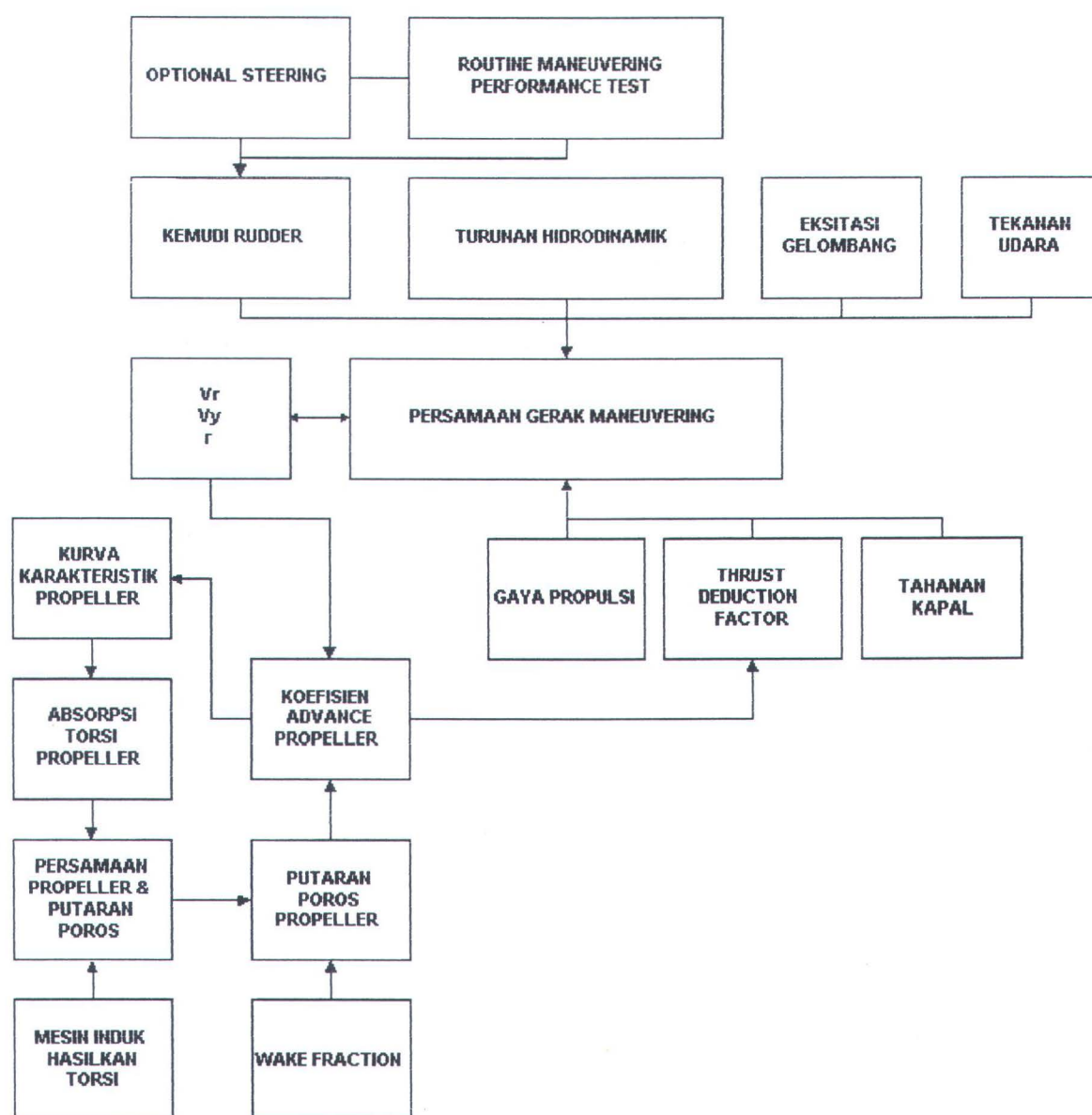


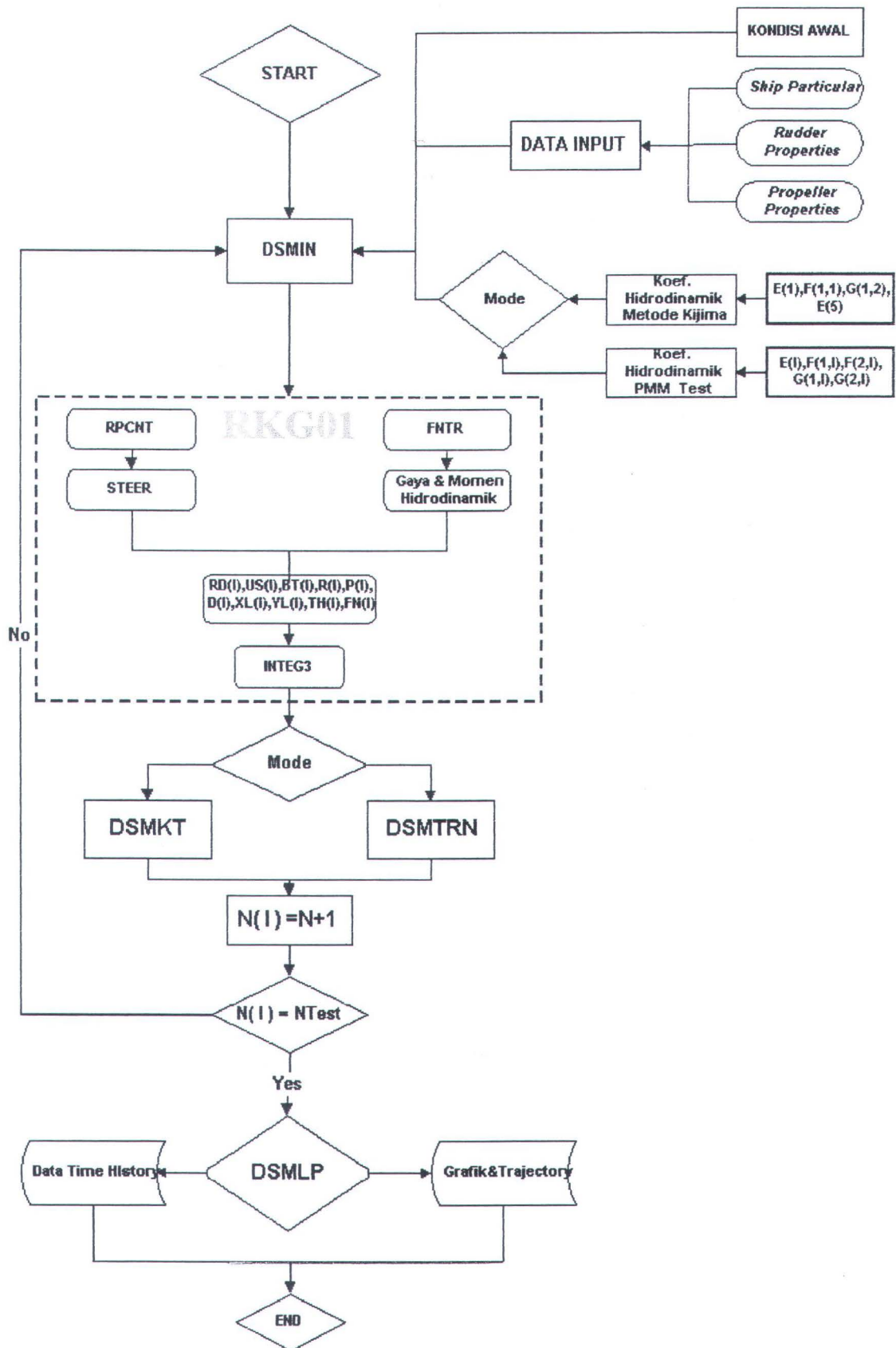
Dengan demikian pengujian statistik t_0 dari persamaan (3.6) akan menolak

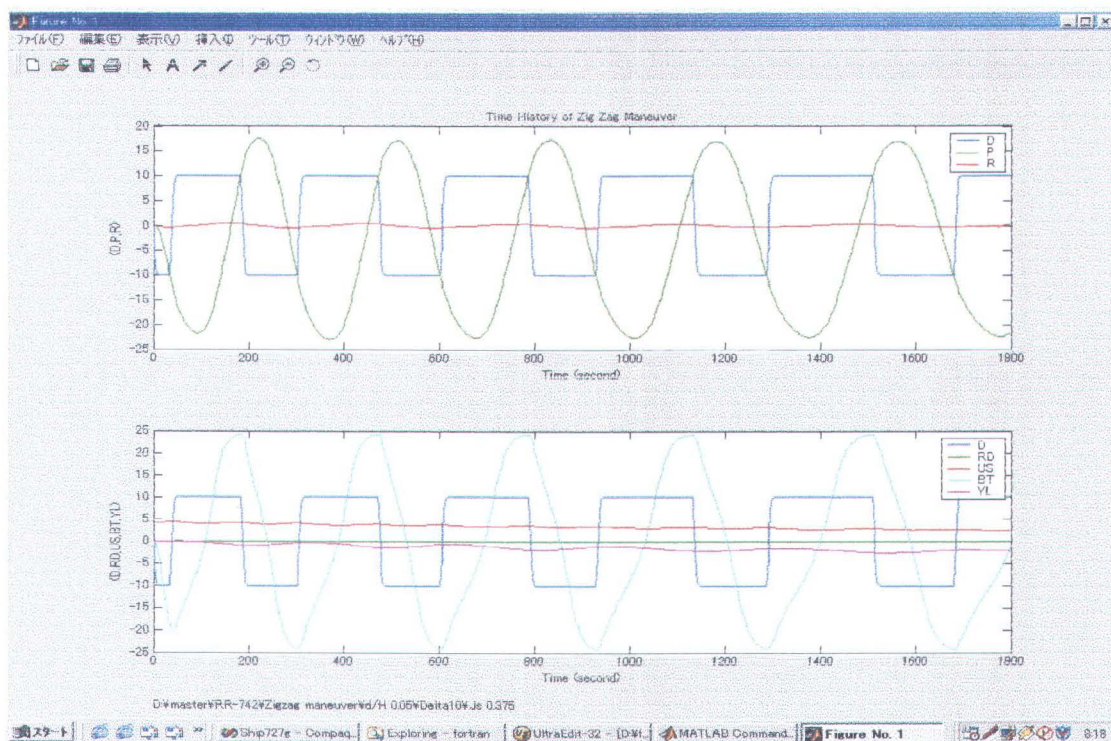
Ho jika :

$$t_0 > t_{\alpha, n-1}$$

III.6 SKEMA DIAGRAM ALIR SIMULASI







Gambar 3.1. Tampilan hasil simulasi pada aplikasi Matlab6p5 Release.13



BAB IV

ANALISIS DATA DAN SIMULASI

Analisa difokuskan terhadap hasil running program untuk mode test yakni zigzag maneuver test. Dalam running program, prosedur yang digunakan akan mengacu kepada peraturan standard kemampuan maneuver kapal yang direkomendasikan oleh International Maritime Organization (IMO) yakni resolusi MSC.137 (76) annex.6 tertanggal 4 Desember 2002 dan mulai diterapkan sejak tanggal 1 Januari 2004, yang mana resolusi ini merupakan amandemen terhadap resolusi sebelumnya yakni A.751 (18) mengenai standard kemampuan maneuver kapal.

IV.1 STANDARD MANEUVERABILITY

Mengacu kepada penjelasan resolusi tersebut di atas, sebagaimana yang telah direkomendasikan oleh International Maritime Organization (IMO), aturan standard yang dimaksud disini didasarkan atas pengertian bahwa kemampuan maneuver kapal dapat dievaluasi berdasarkan karakteristik dari pengujian maneuver seperti biasanya atau secara konvensional, dimana kapal yang dimaksud adalah kapal yang memiliki panjang 100 meter atau lebih (kecuali tanker dan gas carier) dengan menggunakan sistem propulsi dan sistem kemudi (steering) konvensional yakni gaya dorong kapal dihasilkan oleh propeller yang digerakan oleh poros propeller. Standard maneuver dan terminologinya didefinisikan sebagai berikut :



1. Zig zag maneuver dengan sudut kemudi $10^0/10^0$ dilaksanakan dengan prosedur sebagai berikut :
 - a. Setelah tercapai steady approach dengan percepatan yawing sama dengan nol, maka kemudi dibelokan sebesar 10^0 ke arah starboard atau portside (eksekusi pertama)
 - b. Pada saat sudut heading berubah 10^0 dari sudut heading semula, maka kemudi dibelokan berlawanan atau dibalik 10^0 ke arah portside atau starboard (eksekusi kedua)
 - c. Setelah kemudi dibelokan ke arah portside/starboard, maka kapal akan terus berbelok pada arah semula dengan mengalami penurunan kecepatan belok. Untuk mengetahui respon kapal terhadap kemudi maka selanjutnya kapal harus dibelokan ke arah portside/starboard. Ketika kapal sudah mencapai sudut heading 10^0 ke arah portside/starboard dari lintasan semula maka selanjutnya kemudi dilawan atau diarahkan sebaliknya yakni 10^0 ke arah starboard/portside (eksekusi ketiga).
2. Sudut overshoot pertama adalah penambahan dari deviasi sudut heading pada zig zag maneuver pada eksekusi kedua.
3. Sudut overshoot kedua adalah penambahan dari deviasi sudut heading pada zig zag maneuver pada eksekusi ketiga.
4. Zig zag maneuver dengan sudut kemudi $20^0/20^0$ dilaksanakan dengan prosedur yang sama dengan urutan prosedur nomor 3 sampai dengan nomor 5.



Dalam menganalisa performance manuver kapal maka pengujian maneuver baik ke arah portside maupun starboard harus dilaksanakan dengan kondisi sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada perairan dalam (deep water) atau perairan tak terbatas (unrestricted water).
2. Kondisi perairan atau lingkungan yang tenang (calm environment).
3. Kondisi sarat penuh (sesuai dengan garis air pada musim panas), even keel.
4. Steady approach pada saat test speed.

Kemampuan maneuver suatu kapal dapat dikatakan memenuhi syarat apabila memenuhi kriteria sebagai berikut :

1. Yaw checking dan course keeping ability.
 1. Harga sudut overshoot pertama untuk zig zag maneuver $10^0/10^0$ tidak boleh melebihi kriteria sebagai berikut :
 1. 10^0 jika L/V kurang dari 10 detik
 2. 20^0 jika L/V sama dengan 30 detik atau lebih
 3. $(5+1/2(L/V))$ derajat jika L/V sama dengan 10 detik atau lebih tapi kurang dari 30 detik, dimana L dalam satuan m dan V dalam satuan m/s
 2. Harga sudut overshoot kedua untuk zig zag maneuver $10^0/10^0$ tidak boleh melebihi kriteria sebagai berikut :
 1. 25^0 jika L/V kurang dari 10 detik
 2. 40^0 jika L/V sama dengan 30 detik atau lebih





3. $(17.5 + 0.75(L/V))$ derajat jika L/v sama dengan 10 detik atau lebih tapi kurang dari 30 detik, dimana L dalam satuan m dan V dalam satuan m/s
3. Harga sudut overshoot kedua untuk zig zag maneuver $20^0/20^0$ tidak boleh melebihi 25^0

IV.2 RUNNING MODEL SIMULASI

Sebelum model simulasi yang telah dibuat digunakan untuk memenuhi tujuan penelitian, maka terlebih dahulu dilakukan simulasi awal dan melakukan uji validasi terhadap model. Untuk memenuhi tujuan tersebut maka simulasi dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu simulasi awal, proses validasi model dan menjalankan model simulasi yang sudah valid. Simulasi awal adalah simulasi yang dibuat dengan memasukkan harga-harga yang variabel dan parameter input dari tanker Esso Osaka, dimana pengujian secara full scale telah dilakukan terhadap kapal ini sehingga dengan demikian kita dapat membandingkan hasil output running program dengan data pengujian maneuver full scale yang sudah ada selain itu hal ini dimaksudkan sebagai kontrol logika apakah simulasi yang telah dibuat telah memenuhi harapan atau tidak. Setelah hasil dinyatakan layak, langkah selanjutnya adalah melakukan validasi terhadap model tersebut. Validasi model dilakukan terhadap output hasil simulasi yakni sudut heading, kecepatan kapal, yawing rate pada pengujian zigzag maneuver 10/10 derajat dan 20/20 derajat serta pengujian turning circle maneuver dengan sudut kemudi 35 derajat pada kondisi perairan dalam. Bila hasil validasi tidak memenuhi kriteria validasi berarti model yang kita buat harus diulang mulai



dari awal. Kegagalan dalam validasi bisa disebabkan oleh kesalahan flowchart, input data atau asumsi model. Selanjutnya dilakukan pengujian maneuver dengan memasukkan harga-harga variabel dan parameter input yang lain dari model-model kapal yang telah dilakukan pengujian captive model test untuk mendapatkan koefisien turunan hidrodinamikanya. Untuk menganalisis gerakan maneuver kapal pada kondisi gerakan maneuver yang kecil artinya gerakan aksi kemudi sangat kecil, untuk itu kita menggunakan simulasi gerakan maneuver zigzag 5, 10 dan 15 derajat. Pada gerakan maneuver ini, hanya koefisien yang linear saja yang memiliki kontribusi besar terhadap timbulnya gaya-gaya yang bekerja pada badan kapal. Dalam hal ini diasumsikan kemudi kapal digerakan masing-masing sebesar 5, 10 atau 15 derajat dan posisinya ditahan sampai dengan sudut heading kapal telah mencapai 5, 10 atau 15 derajat, kemudian kemudi digerakan dengan arah berlawanan dari arah semula sebesar 5, 10 atau 15 derajat kemudian posisi kemudi dipertahankan sampai dengan dengan sudut heading kapal berubah menjadi 5, 10 atau 15 derajat pada arah yang berlawanan dari arah semula. Dalam simulasi yang ditujukan untuk kondisi gerakan maneuver lambat dengan kata lain kapal bergerak dengan kecepatan dead slow, sebagai contoh ketika melakukan gerakan maneuver saat akan merapat ke dermaga sehingga dengan demikian simulasi lebih dititik beratkan kepada jenis gerakan zigzag maneuver dibandingkan dengan turning circle maneuver, hal ini dikarenakan pada pengujian zigzag maneuver, percepatan $(\dot{u}, \dot{v}, \dot{r})$ yang ada, memberikan kontribusi yang signifikan terhadap gaya yang dihasilkan disamping kontribusi dari kecepatan dan kontrol derivatif (u, v, r, δ) . Pada gerakan turning circle maneuver, percepatan yang ada dengan cepat menuju ke



angka nol, hanya faktor kecepatan dan kontrol derivatif yang memberikan kontribusi utama terhadap timbulnya gaya yang bekerja pada badan kapal. Pada simulasi untuk gerakan maneuver kategori kecil ini, kita variasikan juga terhadap perubahan kedalaman perairan. Untuk menganalisis gerakan maneuver kapal pada kondisi gerakan maneuver yang moderat artinya gerakan aksi kemudi sangat cukup besar, kita menggunakan simulasi gerakan maneuver zigzag 20 derajat dimana pada kondisi ini koefisien linear dan beberapa yang nonlinear memberikan kontribusi yang signifikan terhadap timbulnya gaya yang bekerja pada badan kapal. Pada pengujian zigzag maneuver dengan sudut kemudi 20 derajat ini memiliki derajat dinamis yang lebih besar dibandingkan dengan pengujian turning circle maneuver, sehingga kita lebih menitikberatkan analisis kepada pengujian zigzag maneuver. Pada simulasi untuk gerakan maneuver kategori moderat ini, kita variasikan juga terhadap perubahan kedalaman perairan untuk mengetahui perubahan karakter respon gerak maneuver kapal terhadap perubahan kedalaman perairan. Untuk menganalisis gerakan maneuver kapal pada kondisi gerakan maneuver yang moderat artinya gerakan aksi kemudi sangat cukup besar, kita menggunakan simulasi gerakan maneuver zigzag 25, 30 dan 35 derajat dimana pada kondisi ini koefisien linear dan nonlinear memberikan kontribusi yang signifikan terhadap timbulnya gaya yang bekerja pada badan kapal dan perlu diketahui bahwa pada gerakan maneuver yang besar kontribusi koefisien nonlinear lebih besar dibandingkan kontribusi koefisien tersebut pada gerakan maneuver yang moderat. Pada simulasi untuk gerakan maneuver kategori besar ini, kita variasikan juga terhadap perubahan kedalaman perairan. Simulasi kita variasikan terhadap rasio d/H .



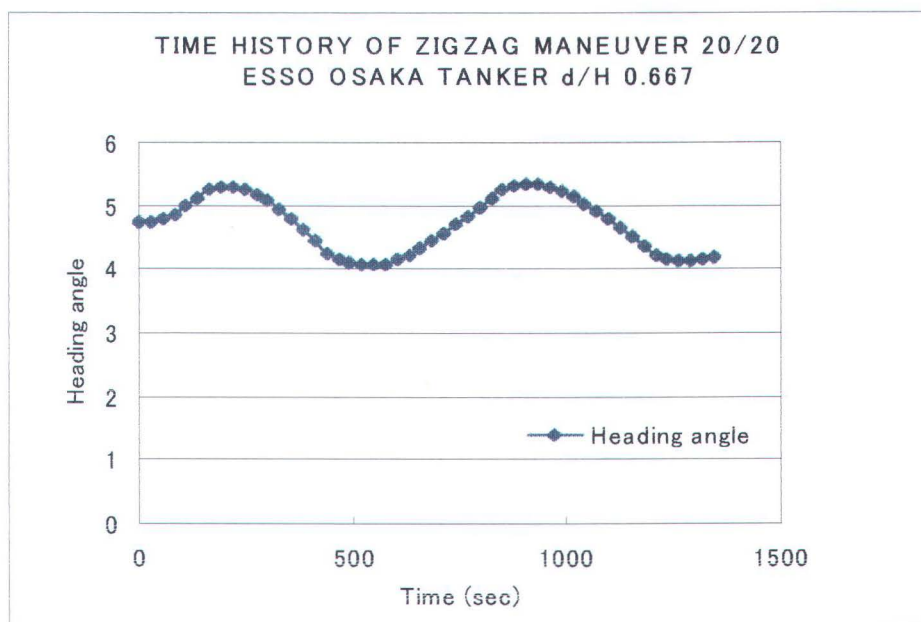
IV.3 VALIDASI

Sebelum eksperimen dengan menggunakan simulasi dilaksanakan, maka harus dilakukan pengujian terhadap validitas simulasi yang dibuat. Pengujian validitas ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah model simulasi yang dibuat dapat merepresentasikan sistem nyata. Jika model simulasi telah diyakini valid, barulah pelaksanaan simulasi dan analisis dapat dilakukan. Jika sebaliknya, maka harus dilakukan perbaikan terhadap model simulasi. Langkah validasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Membandingkan hasil simulasi dengan data riil hasil pengujian maneuver secara full scale, data mengacu pada pengujian zigzag maneuver tanker Esso Osaka.
- b. Menggunakan uji statistik, dikarenakan jumlah sample data kurang dari 50 maka digunakan t-Test.

Pada proses validasi yang pertama ini nilai yang menjadi parameter perbandingan adalah output sudut heading, kecepatan yawing dan kecepatan maju kapal terhadap perubahan sudut kemudi 10/10 dan 20/20 derajat dengan kemudi ke arah portside terlebih dahulu. Hasil proses validasi dapat dilihat pada ilustrasi dibawah ini :

Dengan menggunakan *one - sample T test* yang tersedia pada software SPSS 10.0, maka diperoleh hasil sebagai berikut,



Sumber : Abkowitz M.A,1980

t-Test

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Mean
PSI	50	23619,6	2800,323	885,540

One-Sample Test

Test Value = 24618						
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of Difference	
					Lower	Upper
PSI	-1,127	2	,289	-998,4000	-3001,63	1004,830

Tabel IV.1

Hasil uji one sample t-Test untuk Validasi sudut heading



One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
PSI DOT	50	43,600	5,581	1,765

One-Sample Test

	Test Value = 41					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
PSI DOT	1,473	2	,175	2,600	-1,3929	6,592

Tabel IV.2

Hasil uji one sample t-Test untuk Validasi kecepatan yawing

Nilai T tabel diperoleh dari tabel nilai kritis distribusi t pada taraf keberartian $(1-\alpha)$ 95% dengan derajat kebebasan (df) adalah N-k. Hipotesa nol diterima jika nilai T hitung kurang dari sama dengan nilai T tabel atau nilai *significance level*-nya lebih dari nilai α . Dari tabel IV.1 di atas dapat diketahui bahwa nilai T hitung (1.127) lebih kecil dari nilai T tabel (1.833) dan nilai *significance level*-nya (0.289) lebih besar dari nilai α (0,05) dan dari table IV.2 didapat bahwa nilai T hitung (1.473) lebih kecil dari nilai T table (1.833) serta nilai *significance level*-nya (0.175) lebih besar dari nilai α (0,05). Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa hipotesa nol diterima dan dinyatakan bahwa tidak ada perbedaan rataan antara hasil simulasi dengan sistem riil. Kesimpulan ini menunjukkan bahwa model simulasi valid dan dapat digunakan sebagai representasi sistem dalam melakukan analisa performansi sistem.



IV.4 ANALISA HASIL SIMULASI

Dari hasil running simulasi program, setelah kita memasukan data input dengan berbagai variasi parameter dan variabel sebagaimana pada tabel (III.3.1), (III.3.2), (III.3.3), (III.3.4) dan (III.3.5) maka kita mendapatkan beberapa data output secara diskrit antara lain untuk :

- ❖ Urutan iterasi perhitungan (N Data)
- ❖ Time diskrit maneuvering (T)
- ❖ Perubahan sudut kemudi (D)
- ❖ Perubahan sudut heading (P)
- ❖ Perubahan kecepatan yawing (R)
- ❖ Perubahan percepatan yawing (RD)
- ❖ Perubahan kecepatan maju kapal (US)
- ❖ Perubahan drift angle (BETA)
- ❖ Perubahan posisi kapal searah sumbu X bumi (X/L)
- ❖ Perubahan posisi kapal searah sumbu Y bumi (Y/L)
- ❖ Perubahan gaya normal kemudi (FN)
- ❖ Perubahan thrust propeller (THRUST)

Kesemua data output di atas direpresentasikan baik dalam bentuk data tabulasi numerik maupun tampilan layout secara grafis dengan menggunakan bantuan aplikasi MATLAB6P5 Release.13, tampilan grafis untuk berbagai variasi running program simulasi terlampir dalam bab VI. Selain itu khusus untuk mode simulasi



zigzag maneuver, selain data output yang tersebut di atas, program simulasi ini juga menghasilkan data output yang lain berupa harga:

- ❖ Index Stability (K')
- ❖ Course Stability (T')
- ❖ Responsivitas kapal terhadap perubahan sudut kemudi ($1/T'$)

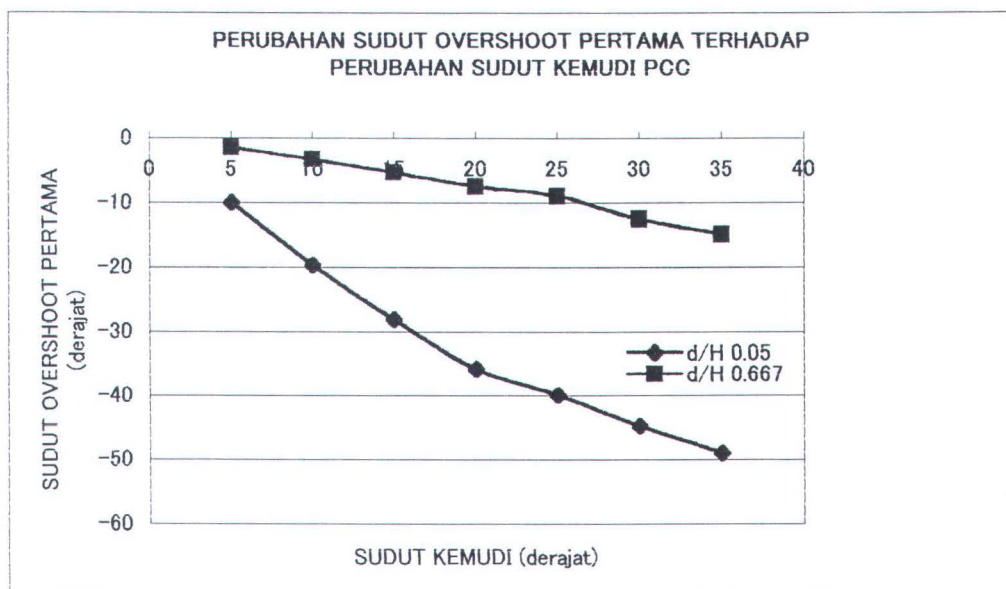
Dalam program simulasi ini data output berupa index stability dan course stability dimana K' - T' analisis dihitung dengan menggunakan dua cara yakni yang pertama adalah dengan menggunakan linear equation method dan least square method.

IV.4.1 SUDUT OVERSHOOT

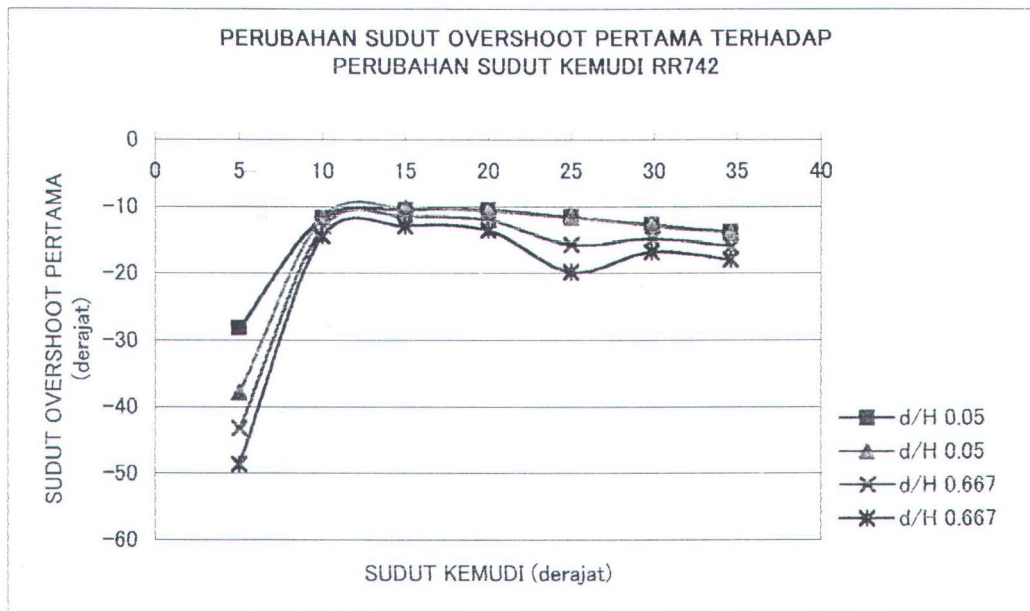
Pada grafik IV.1 dibawah ini dapat kita analisis keterkaitan hubungan antara sudut kemudi pada berbagai kondisi kedalaman perairan terhadap besar kecilnya first overshoot angle yang terbentuk. Gerakan zigzag maneuver kapal pada kondisi kedalaman perairan yang dangkal untuk sudut kemudi yang kecil atau gerakan maneuver kecil, menghasilkan first overshoot angle yang relatif kecil pula dibandingkan dengan gerakan zigzag maneuver yang moderat yakni dengan sudut kemudi 20 derajat maupun gerakan maneuver yang lebih besar yakni dengan sudut kemudi 20, 25 dan 35 derajat untuk kondisi kedalaman perairan yang dangkal. Sudut overshoot yang terbentuk pada gerakan zigzag maneuver untuk kondisi perairan dalam menunjukan kenaikan sesuai dengan dengan besar kenaikan sudut kemudi. Namun jika dibandingkan antara kondisi perairan dangkal dan kondisi perairan dalam, sudut overshoot pertama yang terbentuk menunjukan untuk kondisi perairan dangkal lebih kecil dibandingkan dengan sudut overshoot pertama yang terbentuk



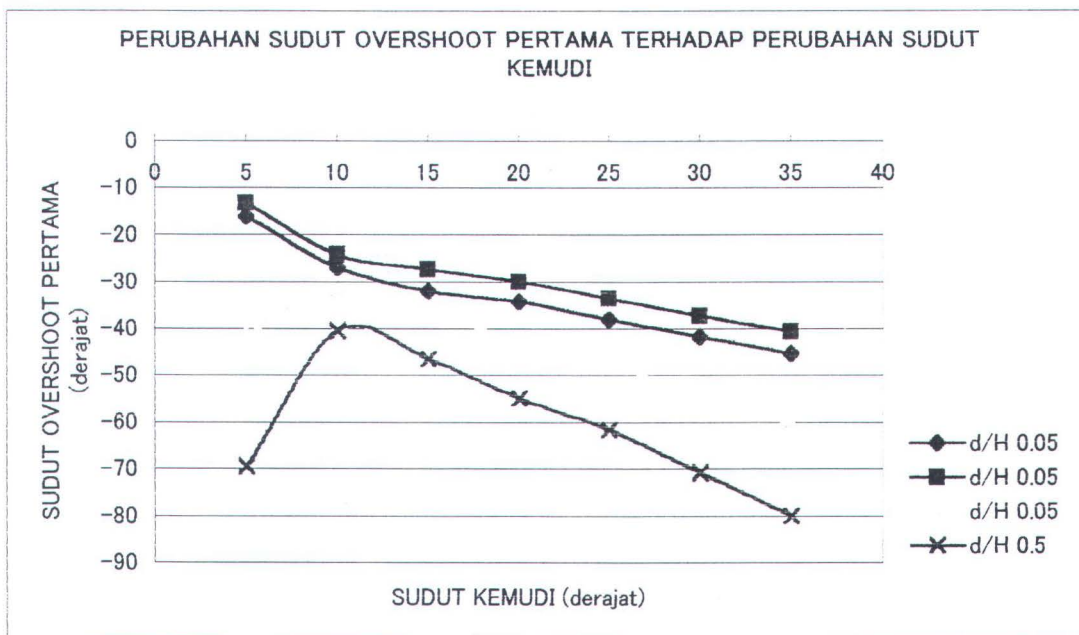
pada kondisi perairan dalam. Perubahan sudut overshoot yang terbentuk pada gerakan zigzag pada kondisi perairan dangkal terhadap perubahan putaran propeller kapal (n) sebagaimana pada grafik IV.2, dapat kita analisis bahwa sudut overshoot yang terbentuk pada gerakan maneuver zigzag pada kondisi perairan dangkal untuk putaran propeller yang tinggi menghasilkan sudut overshoot pertama yang besar sedangkan untuk putaran propeller yang rendah sudut overshoot pertama yang terbentuk juga relatif lebih kecil dibandingkan dengan sudut overshoot pertama yang terbentuk pada putaran propeller yang tinggi dengan asumsi untuk kecepatan maju kapal (V_s) yang tetap serta diameter propeller yang tetap atau dengan kata lain hanya terdapat perubahan koefisien advance (J) saja. Sudut overshoot akan bertambah menjadi lebih besar sejalan dengan bertambahnya kecepatan kapal, sedangkan untuk sudut overshoot yang kecil menunjukkan kapal memiliki karakter untuk dapat menyelesaikan gerakan zigzag maneuver dibandingkan dengan kapal yang memiliki sudut overshoot yang besar.



Grafik (IV.1) Sudut overshoot pertama PCC



Gambar (IV.2) Sudut overshoot pertama RR742 dgn perubahan putaran propeller



Gambar (IV.3) Sudut overshoot pertama SR 108



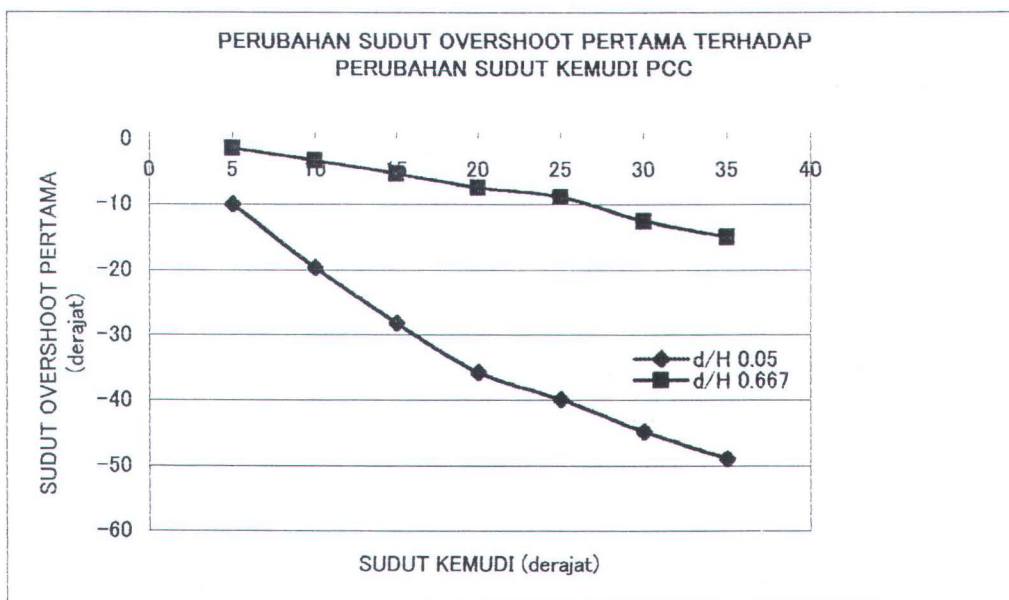
IV.4.5 WAKTU OVERSHOOT

Pada grafik IV.4 di bawah ini dapat kita analisis keterkaitan hubungan antara sudut kemudi pada berbagai kondisi kedalaman perairan terhadap besar kecilnya time overshoot pada eksekusi kemudi pertama yang terbentuk. Gerakan zigzag maneuver kapal pada kondisi kedalaman perairan yang dangkal dengan sudut kemudi yang kecil atau gerakan maneuver kecil, menghasilkan time overshoot pertama yang relatif singkat dibandingkan dengan gerakan zigzag maneuver yang moderat yakni dengan sudut kemudi 20 derajat ataupun gerakan maneuver yang lebih besar yakni dengan sudut kemudi 20, 25 dan 35 derajat untuk kondisi kedalaman perairan yang dangkal. Time overshoot yang terbentuk pada gerakan zigzag maneuver untuk kondisi perairan dalam menunjukkan kenaikan sesuai dengan dengan besar kenaikan sudut kemudi. Namun jika dibandingkan antara kondisi perairan dangkal dan kondisi perairan dalam, time overshoot pertama yang terbentuk menunjukkan untuk kondisi perairan dangkal lebih singkat dibandingkan dengan sudut overshoot pertama yang terbentuk pada kondisi perairan dalam. Perubahan lama singkatnya time overshoot yang terbentuk pada gerakan zigzag pada kondisi perairan dangkal terhadap perubahan putaran propeller kapal (n) sebagaimana pada grafik IV.15, dapat kita analisis bahwa time overshoot yang terbentuk pada gerakan maneuver zigzag pada kondisi perairan dangkal untuk putaran propeller yang tinggi menghasilkan time overshoot pertama yang relatif lebih lama sedangkan untuk putaran propeller yang rendah sudut overshoot pertama yang terbentuk juga relatif lebih singkat dibandingkan dengan sudut overshoot pertama yang terbentuk pada putaran propeller yang tinggi dengan asumsi untuk kecepatan maju kapal (V_s) yang

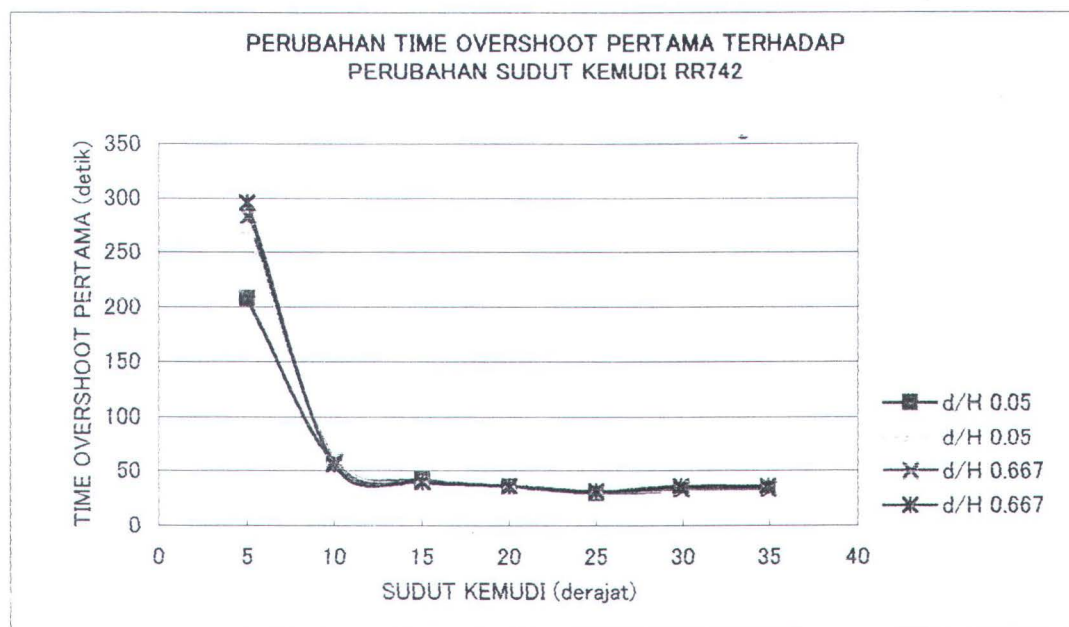


tetap serta diameter propeller yang tetap atau dengan kata lain hanya terdapat perubahan koefisien advance (J) saja. Waktu overshoot akan menjadi lebih lama sejalan dengan kenaikan kecepatan kapal hal ini dikarenakan pencapaian ordered angle oleh sudut defleksi kemudi membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan rudder rate pada saat kapal berlayar dengan kecepatan rendah. Ketika harga K' besar, hal ini menunjukkan bahwa efektifitas kemudi sangat baik atau dengan kata lain kapal memiliki responsivitas yang tinggi terhadap perubahan sudut kemudi, namun demikian sudut overshoot yang terbentuk juga akan menjadi lebih besar.

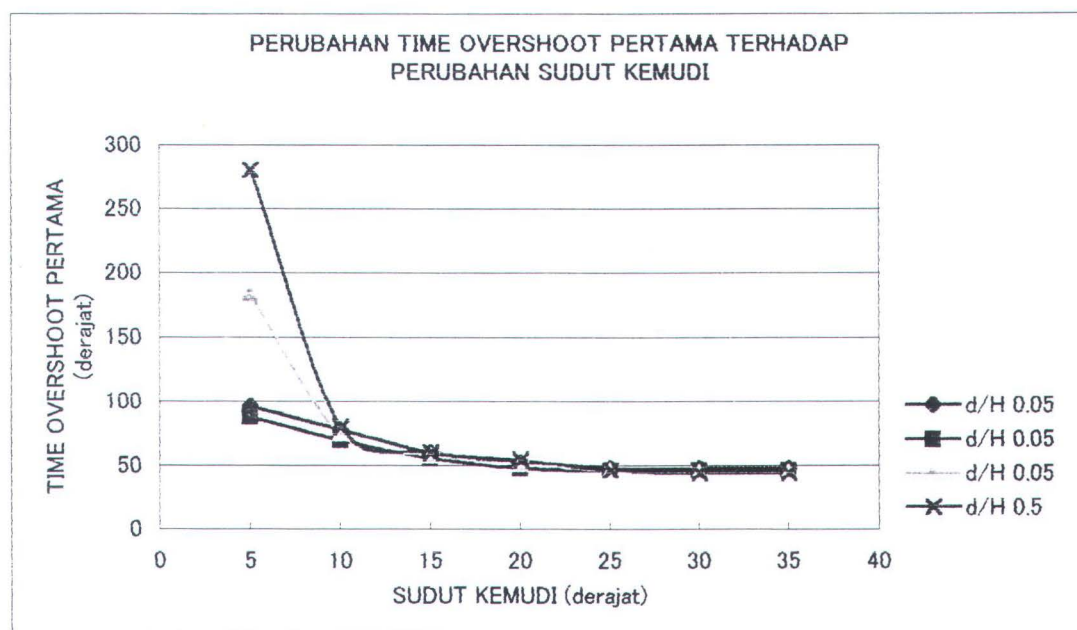
Perbandingan index stability terhadap course stability tentu akan sangat menentukan karakter dinamis kapal. Suatu perbandingan K' dan T' yang negatif menunjukkan bahwa kapal memiliki karakter tidak stabil.



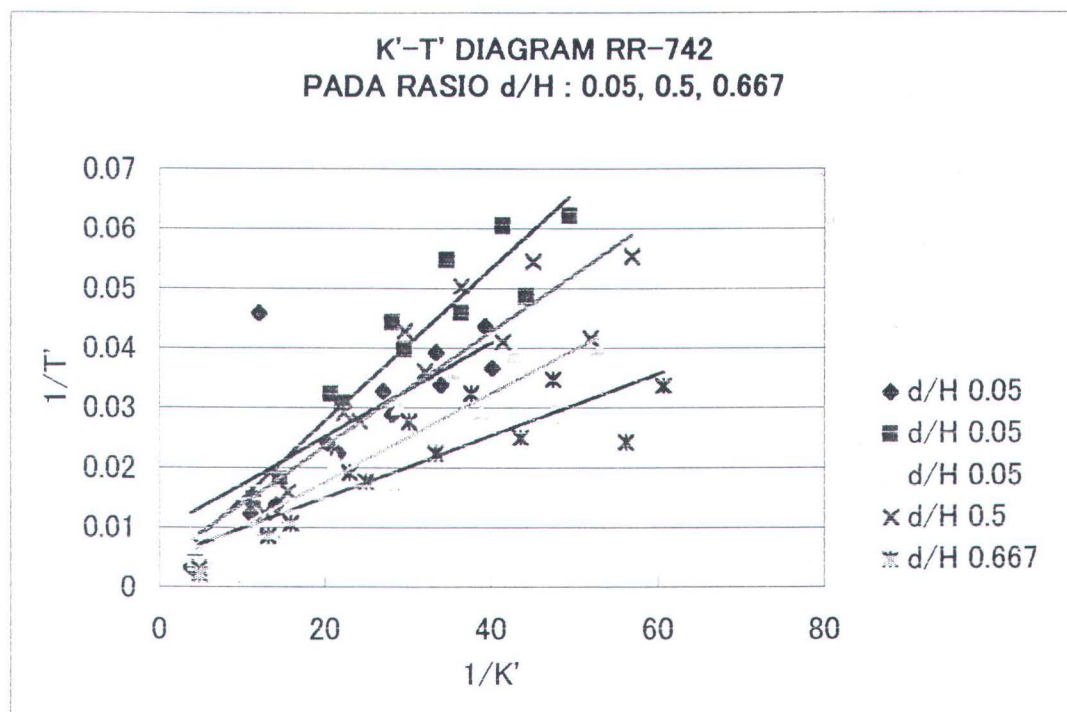
Gambar (IV.4) Time overshoot pertama PCC



Gambar (IV.5) Time overshoot pertama RR742 dengan perubahan putaran propeller



Gambar (IV.6) Time overshoot pertama SR108



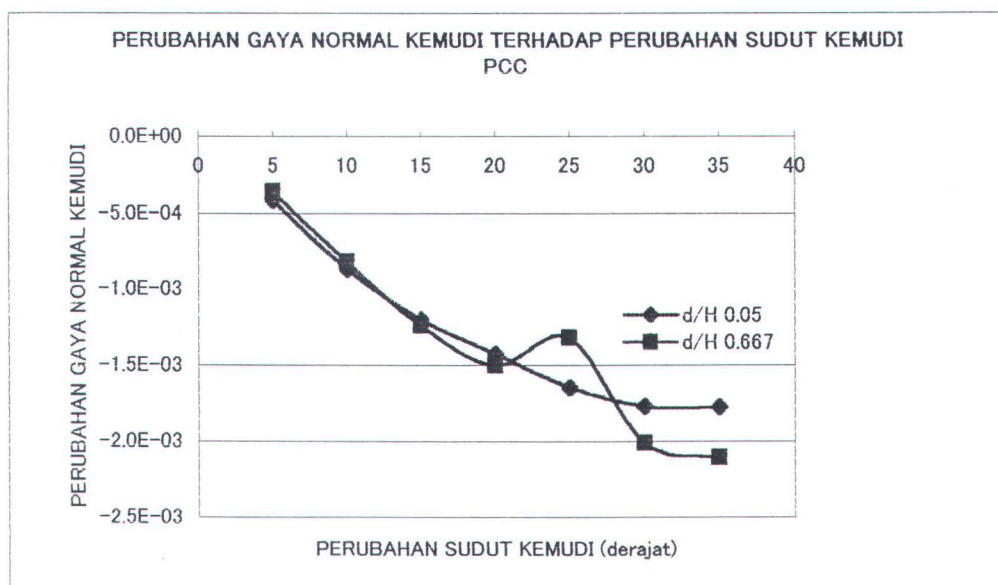
Gambar (IV.7) K'-T' Diagram

IV.4.6 GAYA NORMAL KEMUDI

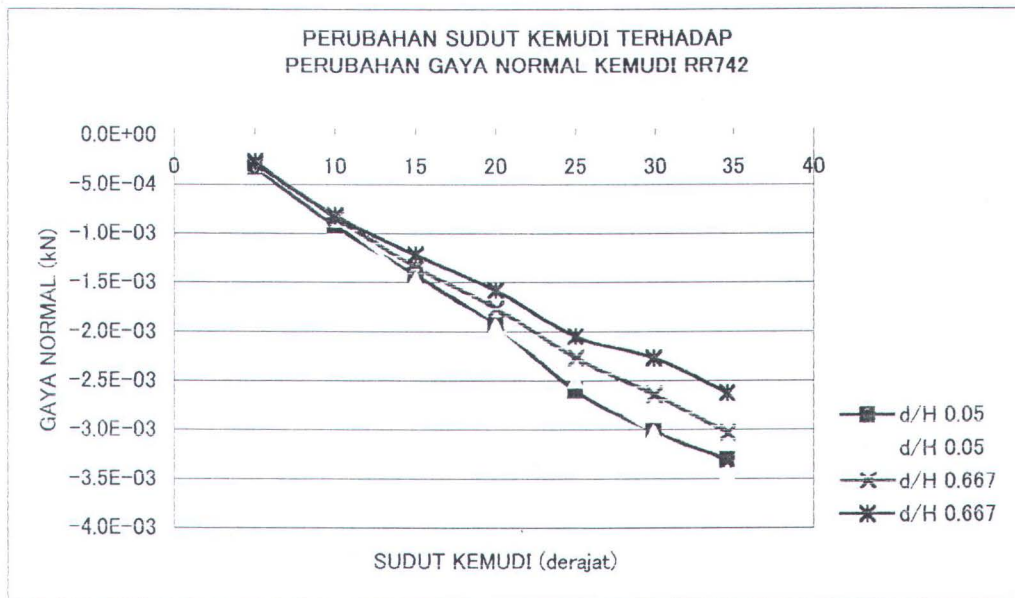
Pada grafik IV.8, IV.9 dan IV.10 dibawah ini dapat kita analisis keterkaitan hubungan antara sudut kemudi pada berbagai kondisi kedalaman perairan terhadap besar kecilnya gaya normal yang bekerja pada kemudi. Gerakan zigzag maneuver kapal pada kondisi kedalaman perairan yang dangkal untuk sudut kemudi yang kecil atau gerakan maneuver kecil, menghasilkan gaya normal kemudi yang relatif kecil pula dibandingkan dengan gerakan zigzag maneuver yang moderat yakni dengan sudut kemudi 20 derajat maupun gerakan maneuver yang lebih besar yakni dengan sudut kemudi 20, 25 dan 35 derajat untuk kondisi kedalaman perairan yang dangkal atau dengan kata lain, pada gerakan maneuver dengan sudut kemudi yang besar maka gaya normal yang bekerja pada kemudi untuk kondisi perairan



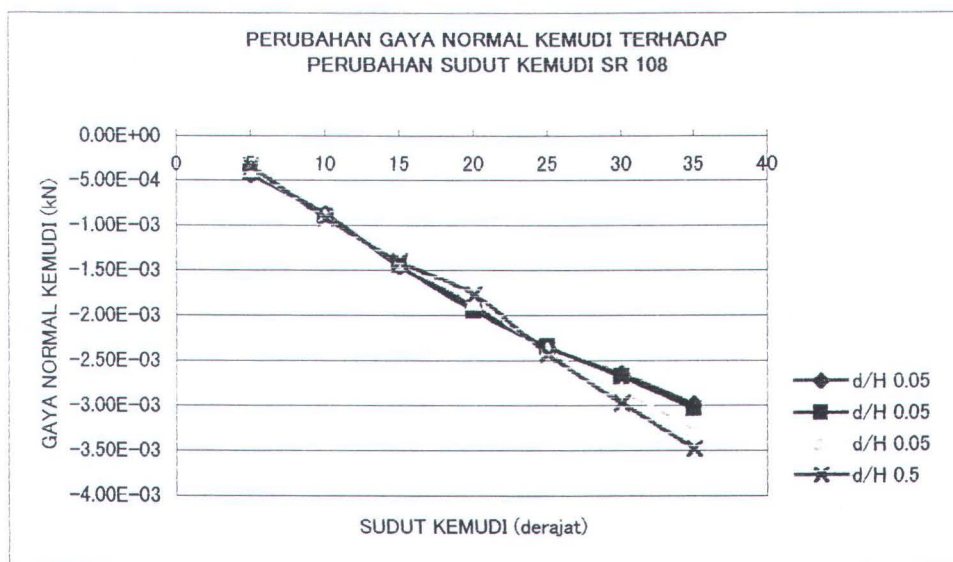
dangkal relatif lebih kecil dibandingkan gaya normal yang bekerja pada kemudi untuk kondisi perairan dalam dengan asumsi untuk besar sudut kemudi yang sama. Gaya normal yang bekerja pada kemudi untuk gerakan zigzag maneuver pada kondisi perairan dalam menunjukkan kenaikan sesuai dengan besar kenaikan sudut kemudi. Perubahan gaya normal yang bekerja pada kemudi untuk gerakan zigzag pada kondisi perairan dangkal terhadap perubahan putaran propeller kapal (n) sebagaimana pada grafik IV.7, dapat kita analisis bahwa gaya normal yang bekerja pada kemudi untuk gerakan maneuver zigzag pada kondisi perairan dangkal dengan putaran propeller yang tinggi menghasilkan gaya normal yang relatif lebih besar sedangkan untuk putaran propeller yang rendah gaya normal yang terbentuk juga relatif lebih kecil dibandingkan dengan gaya normal yang terbentuk pada putaran propeller yang tinggi dengan asumsi untuk kecepatan maju kapal (V_s) yang tetap serta diameter propeller yang tetap atau dengan kata lain hanya terdapat perubahan koefisien advance (J)



Gambar (IV.8) Gaya normal kemudi PCC



Gambar (IV.9) Gaya normal kemudi RR742



Gambar (IV.10) Gaya normal kemudi SR 108

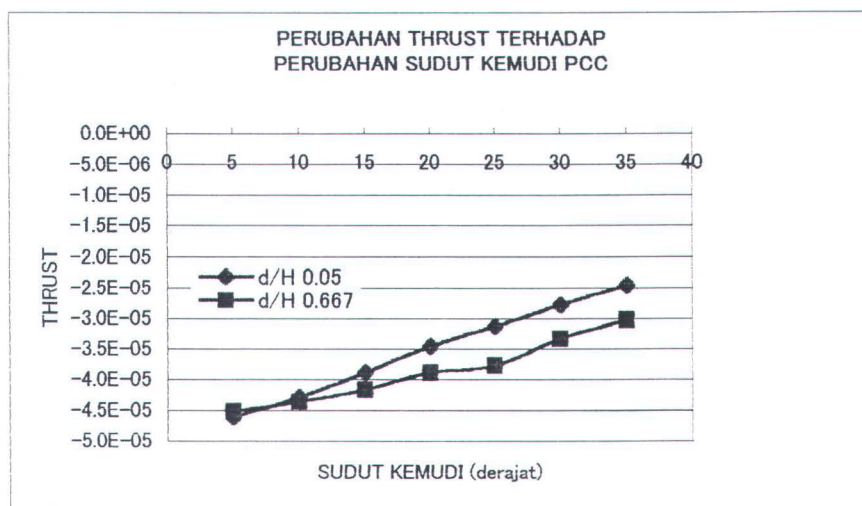


IV.4.7 PENGARUH PERUBAHAN THRUST PROPELLER

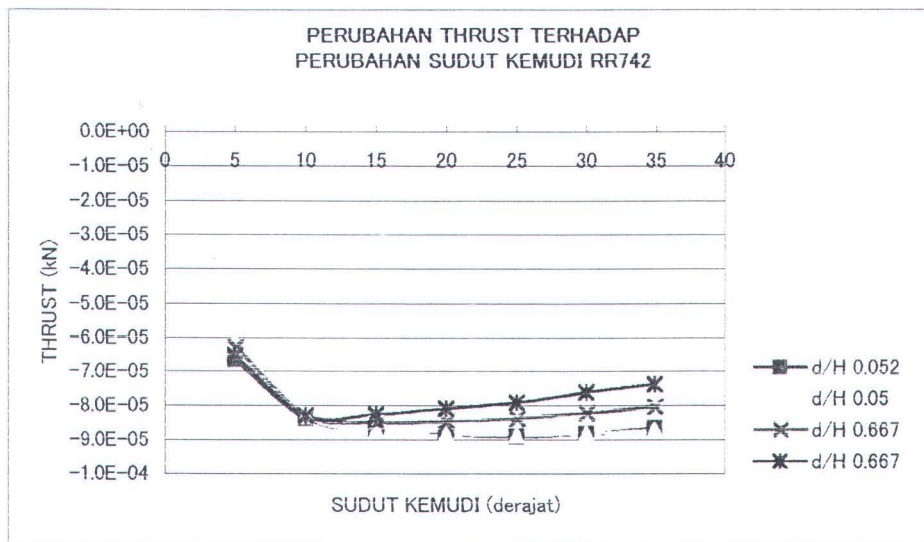
Pada grafik IV.11, IV.12 dan IV.13 dibawah ini dapat kita analisis keterkaitan hubungan antara sudut kemudi pada berbagai kondisi kedalaman perairan terhadap besar kecilnya gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller. Gerakan zigzag maneuver kapal pada kondisi kedalaman perairan yang dangkal untuk sudut kemudi yang kecil atau gerakan maneuver kecil, menghasilkan gaya dorong propeller yang relatif lebih besar dibandingkan dengan gerakan zigzag maneuver yang moderat yakni dengan sudut kemudi 20 derajat maupun gerakan maneuver yang lebih besar yakni dengan sudut kemudi 20, 25 dan 35 derajat untuk kondisi kedalaman perairan yang dangkal atau dengan kata lain, pada gerakan maneuver dengan sudut kemudi yang besar maka gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller untuk kondisi perairan dangkal relatif lebih besar dibandingkan gaya dorong yang dihasilkan propeller untuk kondisi perairan dalam dengan asumsi untuk besar sudut kemudi yang sama kecuali untuk gerakan maneuver kecil atau dengan defleksi sudut kemudi 5 derajat. Gaya yang dihasilkan propeller untuk gerakan zigzag maneuver pada kondisi perairan dalam menunjukan penurunan berlawanan dengan besar kenaikan sudut kemudi. Perubahan gaya dorong yang dihasilkan propeller untuk gerakan zigzag pada kondisi perairan dangkal terhadap perubahan putaran propeller kapal (n) sebagaimana pada grafik IV.7, dapat kita analisis bahwa gaya dorong yang dihasilkan propeller untuk gerakan maneuver zigzag pada kondisi perairan dangkal dengan putaran propeller yang tinggi dengan sudut kemudi yang besar maka akan menghasilkan gaya dorong yang relatif lebih besar sedangkan untuk putaran propeller yang rendah gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller



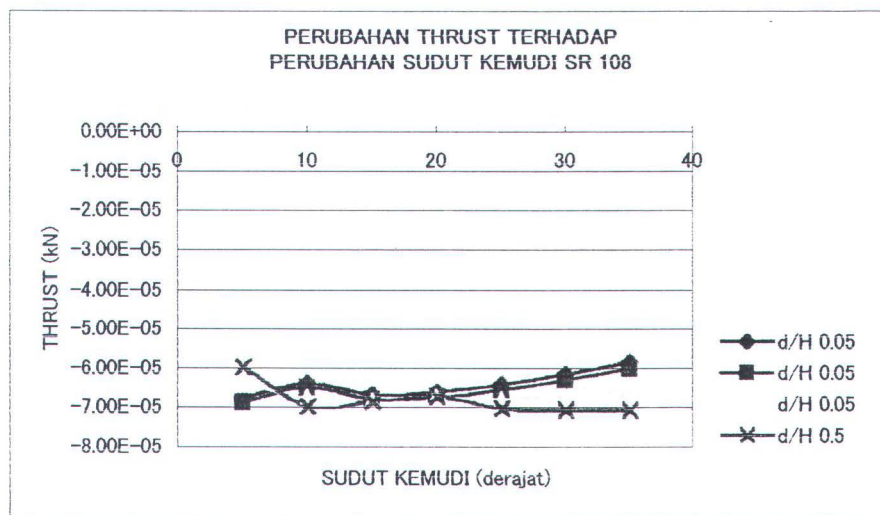
juga relatif lebih kecil dibandingkan dengan gaya dorong yang terbentuk pada putaran propeller yang tinggi dengan asumsi untuk kecepatan maju kapal (V_s) yang tetap serta diameter propeller yang tetap atau dengan kata lain hanya terdapat perubahan koefisien advance (J). Pada sudut defleksi kemudi yang kecil yakni pada 5 derajat, menunjukkan bahwa gaya dorong yang dihasilkan propeller pada putaran rendah lebih besar dibandingkan gaya dorong yang dihasilkan oleh propeller pada putaran tinggi dengan asumsi tingkat kedalaman perairan sama. Hal ini dikarenakan pada sudut defleksi kemudi yang kecil sudut tangensial aliran air yang melewati kontur badan kapal dan menuju ke propeller lebih kecil dibandingkan dengan aliran air yang sama pada sudut defleksi kemudi yang lebih besar. Artinya pada saat melakukan gerakan zigzag maneuver dengan defleksi sudut kemudi eksekusi pertama kapal maju ke depan dengan sudut heading yang terbentuk, ketika eksekusi sudut kemudi dilakukan maka kapal masih memiliki kelembaman pada arah semula, akibatnya aliran air yang akan menuju propeller disk tidak akan sama dengan ketika kapal lurus ke depan dengan defleksi sudut kemudi yang kecil.



Gambar (IV.11) Perubahan thrust propeller PCC



Gambar (IV.12) Perubahan thrust propeller RR 742



Gambar (IV.13) Perubahan thrust propeller SR 108



IV.5 HASIL ANALISIS

Kondisi perairan dangkal secara khusus akan cenderung berpengaruh terhadap terjadinya scale effect pada saat pengujian model kapal dibandingkan dengan kapal yang sebenarnya, hal ini dikarenakan sifat dari aliran perairan terbatas. Pada perairan dalam, beberapa bagian dari vektor kecepatan aliran yang berimpit dengan lengkungan badan kapal (streamline) akan bergerak sepanjang sisi badan kapal, namun di dasar atau bottom kapal terdapat juga aliran air yang signifikan. Ketika kedalaman perairan berangsur-angsur menjadi dangkal, lintasan yang dilalui oleh aliran air di bawah bottom kapal akan menjadi terbatas sehingga hal ini akan menyebabkan beberapa bagian aliran air akan bergerak melalui samping sisi kapal. Kenaikan dari aliran ini pada sepanjang sisi kapal akan menyebabkan kenaikan koefisien hidrodinamik dengan skala yang cukup besar khususnya $Y_\beta, N_\beta, Y_{\dot{\beta}}, N_{\dot{\beta}}$.

Sebagai contoh, pada kasus Y_β , harga koefisien ini akan meningkat ketika kapal bergerak dari perairan dalam menuju perairan dangkal dengan kondisi secara ekstrem tidak terdapat aliran air di bawah bottom kapal ($d/H=1$). Hal ini disebabkan karena koefisien Y_β secara langsung berhubungan dengan gaya angkat pada badan kapal yang dihasilkan oleh adanya sudut serang dari aliran air (drift angle), disamping itu Y_β juga berhubungan dengan tingkat ketergantungan dari gaya angkat tersebut terhadap ekuivalen aspek rasio badan kapal itu sendiri. Efektif aspek rasio ini untuk perairan dalam setara dengan dua kali sarat air kapal dibagi dengan panjang kapal ($2d/L$), ketika dasar kapal telah akan menyentuh dasar perairan atau mengalami situasi akan kandas maka aspek rasio efektif akan menjadi tidak terhingga, hal ini



akan sama halnya dengan permukaan gaya angkat dua dimensi. Hubungan antara koefisien gaya angkat dengan aspek rasio adalah sebagai berikut

$$\frac{\partial C_L}{\partial \alpha} = \frac{2\pi}{1 + \frac{2}{AR}} \dots\dots\dots (IV.4)$$

dimana C_L = koefisien gaya angkat

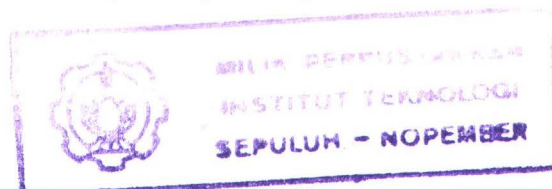
α = sudut serang

AR = aspek rasio (= span dibagi cord)

Seperti halnya pada tanker Esso Osaka pada kondisi perairan dalam, ekuivalen aspek rasionya adalah 1/7 dimana akan memberikan pendekatan terhadap kemiringan grafik gaya angkat sebesar 1/5 dari yang diharapkan untuk infinite aspek rasio, dimana pada kondisi ini dasar kapal hampir menyentuh dasar perairan (Abkowitz, 1980). Peningkatan yang cukup besar dari gaya angkat ini sebagian besar terjadi pada rasio dari sarat kapal terhadap kedalaman air antara 2 dan 1, hal ini akan menjadi signifikan jika rasio akan mendekati harga angka 1. Kenaikan koefisien ini secara signifikan juga disebabkan oleh beberapa faktor yang lain, secara keseluruhan hal inilah yang menyebabkan kapal sangat sulit untuk berbelok pada kondisi perairan dangkal, secara fisik kapal membutuhkan area yang lebih luas untuk melakukan gerakan maneuver pada kondisi perairan dangkal dibandingkan dengan gerakan maneuver pada kondisi perairan dalam. Aliran air yang bergerak sepanjang dibawah permukaan dasar kapal menghasilkan friksional boundary layer dimana ketebalan dari boundary layer ini akan tergantung dari harga Reynold number.



Mengacu kepada resolusi MSC.137 (76) annex.6 IMO harga sudut overshoot pertama tidak boleh melebihi 20 derajat. Yaw checking dan course keeping ability pada hasil simulasi RR-742 untuk gerakan maneuver zigzag 10/10 derajat menunjukkan, rasio L/V pada hasil simulasi selalu berada di atas 30 detik, dari tabulasi dapat kita ketahui (lihat lampiran) bahwa untuk kondisi perairan dangkal dengan sudut kemudi yang kecil yakni 5 derajat, memiliki sudut overshoot pertama -22,2 derajat. Hal ini artinya kapal ini tidak memenuhi persyaratan IMO jika dioperasikan untuk melakukan gerakan maneuver zigzag 10/10 derajat pada kondisi perairan yang dangkal. Sedangkan untuk perubahan sudut kemudi pada gerakan maneuver yang lain baik dengan kondisi kedalaman perairan yang dangkal dan dalam menunjukkan sudut overshoot pertama selalu dibawah harga 20 derajat artinya kapal masih memenuhi regulasi yang direkomendasikan oleh IMO bila melakukan gerakan zigzag maneuver pada kondisi perairan dangkal dan dalam dengan sudut kemudi yang lebih besar dari 5 derajat. Yaw checking dan course keeping ability pada hasil simulasi PCC untuk gerakan maneuver zigzag 10/10 derajat menunjukkan, rasio L/V pada hasil simulasi selalu berada di atas 30 detik, dari tabulasi dapat kita ketahui (lihat lampiran) bahwa untuk kondisi perairan dangkal dan dalam untuk seluruh perubahan sudut kemudi dari sudut minimum ke sudut maksimum pada gerakan zigzag maneuver menunjukkan sudut overshoot pertama selalu dibawah harga 20 derajat artinya kapal masih memenuhi regulasi yang direkomendasikan oleh IMO bila melakukan gerakan zigzag maneuver pada kondisi perairan dangkal dan dalam dengan sudut kemudi dari 5 derajat sampai dengan 35 derajat.





BAB V

KESIMPULAN

V.1 Kesimpulan

Tahap akhir penelitian adalah menarik kesimpulan dari serangkaian tahap penelitian yang telah dilakukan. Penarikan kesimpulan juga untuk menjawab tujuan yang ingin dicapai.

Melalui serangkaian tahapan penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Uji validitas yang dilakukan terhadap model simulasi dengan melakukan perbandingan antara hasil percobaan gerakan zigzag maneuver tanker Esso Osaka 280.000 DWT secara fullscale dengan hasil simulasi kapal tersebut, yaitu untuk sudut heading dan kecepatan yawing kapal yang dihasilkan menunjukkan bahwa hasil simulasi adalah valid dan dapat digunakan sebagai representasi sistem riil dalam melakukan analisis lebih lanjut. Uji yang digunakan adalah dengan menggunakan uji T, dimana dari output SPSS diperoleh nilai T hitung pada sampel yang dibandingkan lebih kecil dari nilai T tabel.
2. Sudut overshoot yang didapatkan dari hasil pengujian zigzag maneuver dapat digunakan untuk mengukur controllability kapal.
3. Sudut overshoot akan semakin bertambah besar jika kecepatan kapal bertambah besar.



4. Kapal dengan sudut overshoot yang kecil memiliki karakter lebih cepat menyelesaikan gerakan zigzag maneuver karena memiliki index stability yang kecil.
5. Time overshoot akan menjadi semakin lama seiring dengan kenaikan kecepatan kapal, hal ini dipengaruhi oleh rudder rate kapal. Pada saat kecepatan kapal rendah, rudder rate akan menjadi semakin cepat dan akan menjadi lambat seiring dengan penambahan kecepatan kapal.
6. Untuk harga K' yang besar, menunjukkan bahwa efektifitas kemudi yang baik artinya kapal sangat responsive terhadap perubahan sudut kemudi sehingga sudut overshoot yang dihasilkan relatif besar.
7. Perbandingan index stability terhadap course stability sangat menentukan karakter dinamis kapal, perbandingan yang negatif menunjukkan kapal memiliki karakter yang tidak stabil.

V.2 SARAN

Saran yang diajukan di bawah ini merupakan rekomendasi yang diberikan oleh penulis berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan.

1. Untuk lebih menghasilkan output data yang lebih teliti guna memprediksi gerakan zigzag maneuver kapal maka diperlukan data koefisien turunan hidrodinamik dari captive model test yang lebih teliti lagi yakni dengan mempertimbangkan ukuran skala model yang digunakan untuk lebih meminimalisasi efek skala yang bisa mempengaruhi hasil pengukuran.

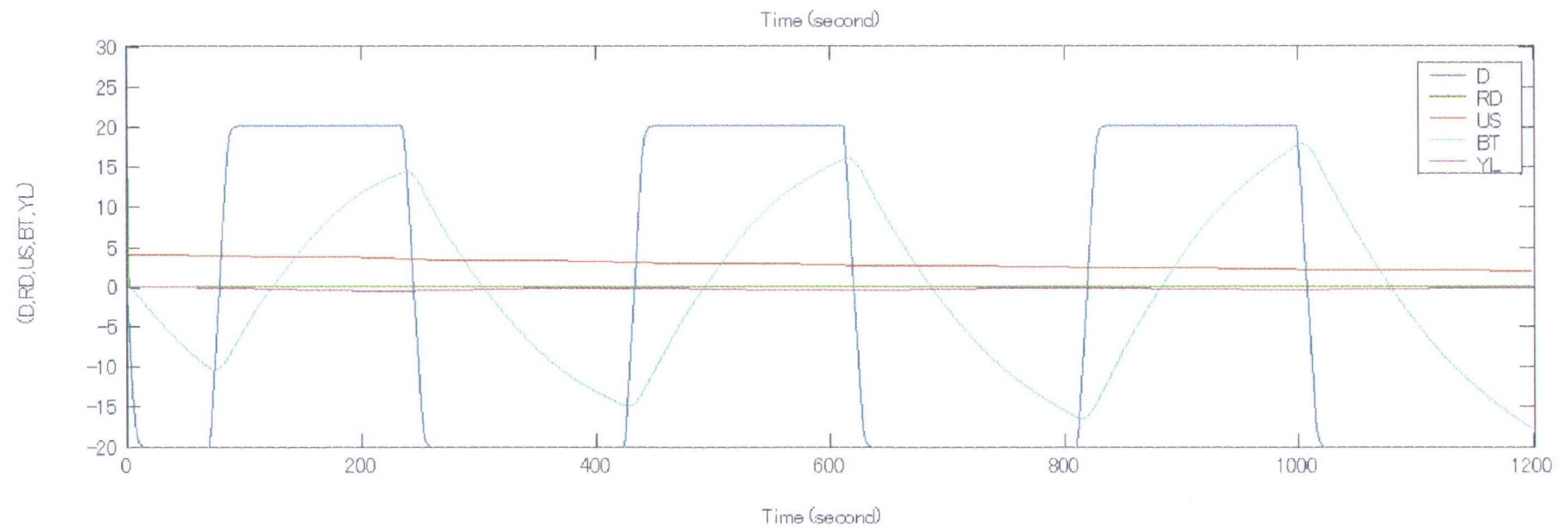
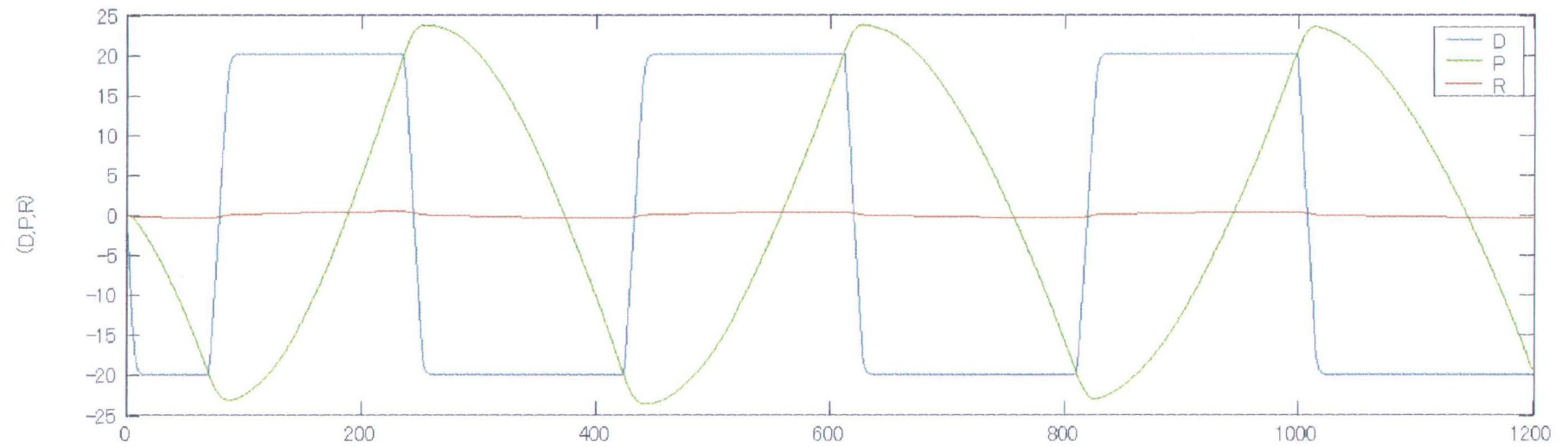


2. Perlu dilakukan pengembangan simulasi maneuvering kapal yang lebih lanjut dan lebih baik untuk mengantisipasi tingkat kompleksitas gerakan maneuver kapal dan seluruh faktor yang berpengaruh didalamnya.
3. Pengembangan simulasi maneuvering kapal ini akan sangat bermanfaat jika dikembangkan secara komprehensif bersama dengan perencanaan lalu lintas laut dan pelabuhan-pelabuhan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

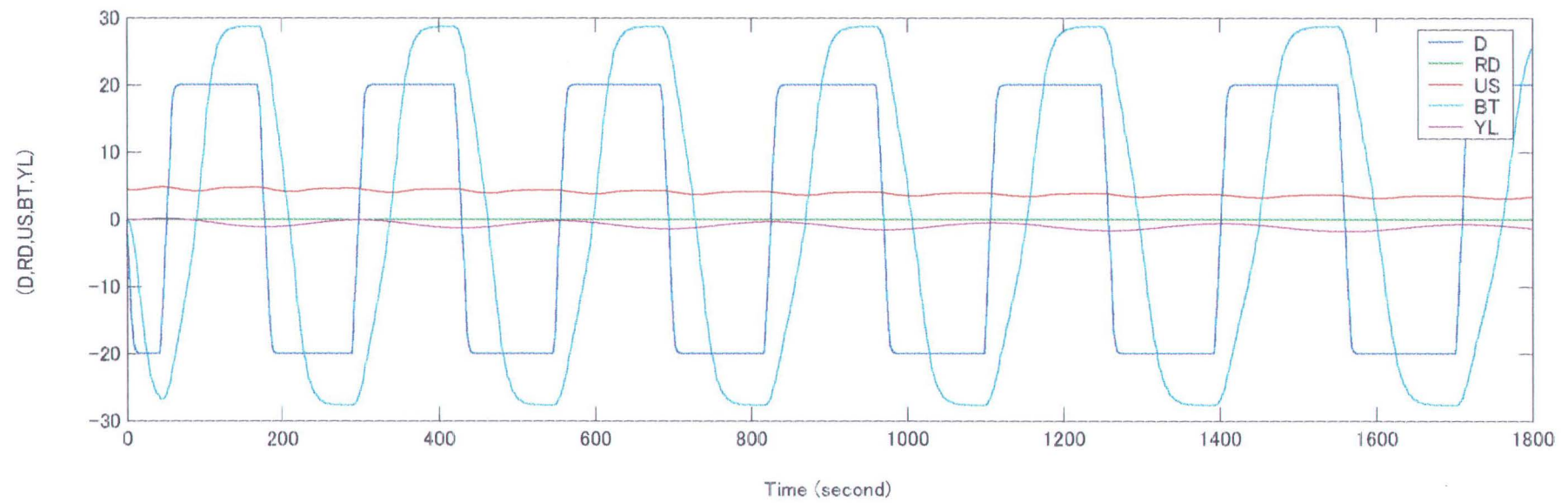
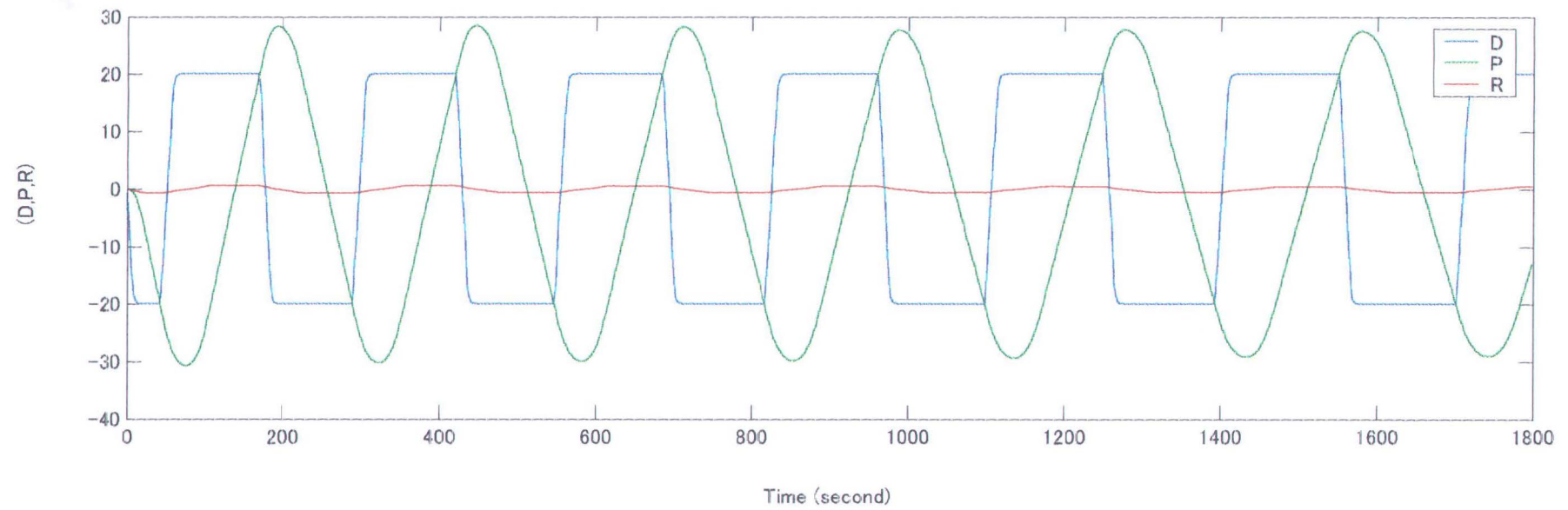
1. Abkowitz Martin. A, **Measurement of Hydrodynamic Characteristics from Ship Maneuvering Trials by System Identification**, Transaction of SNAME Vol. 88, SNAME 601 Pavonia Avenue Jersey City, NJ USA, 1980
2. Fujino Masataka, **Prediction of Maneuvering Performance**, Tokyo University, 7-3-1 Hongo Bunkyo ku Tokyo Japan, 1985
3. Murdijanto, **Study on Data Base Method For Estimating Maneuverability of Ship**, Dept. of NAOE, Faculty of Engineering, Hiroshima University-Higashi Hiroshima Japan, 1986
4. Kose Kuniji, **Mathematical Model, Simulation and Safety Assessment of Maneuvering Motion of Ship**, Hiroshima University-Kagamiyama Higashi Hiroshima Japan.
5. Principle of Naval Architecture, **Volume II. Resistance, Propulsion and Vibration**, SNAME 601 Pavonia Avenue Jersey City, NJ USA, 1988
6. Principle of Naval Architecture, **Volume III. Motion in Waves and Controllability**, SNAME 601 Pavonia Avenue Jersey City, NJ USA, 1989
7. **Proceedings MARSIM & ICSM 90**, JSNA Tokyo- Japan, 1990
8. Kijima Katsuro, Yasuaki Nakiri & Furukawa Yoshitaka, **On Prediction Method for Ship Maneuverability**, Kyushu University-Fukuoka Japan, 1990

Time History of Zig Zag Maneuver

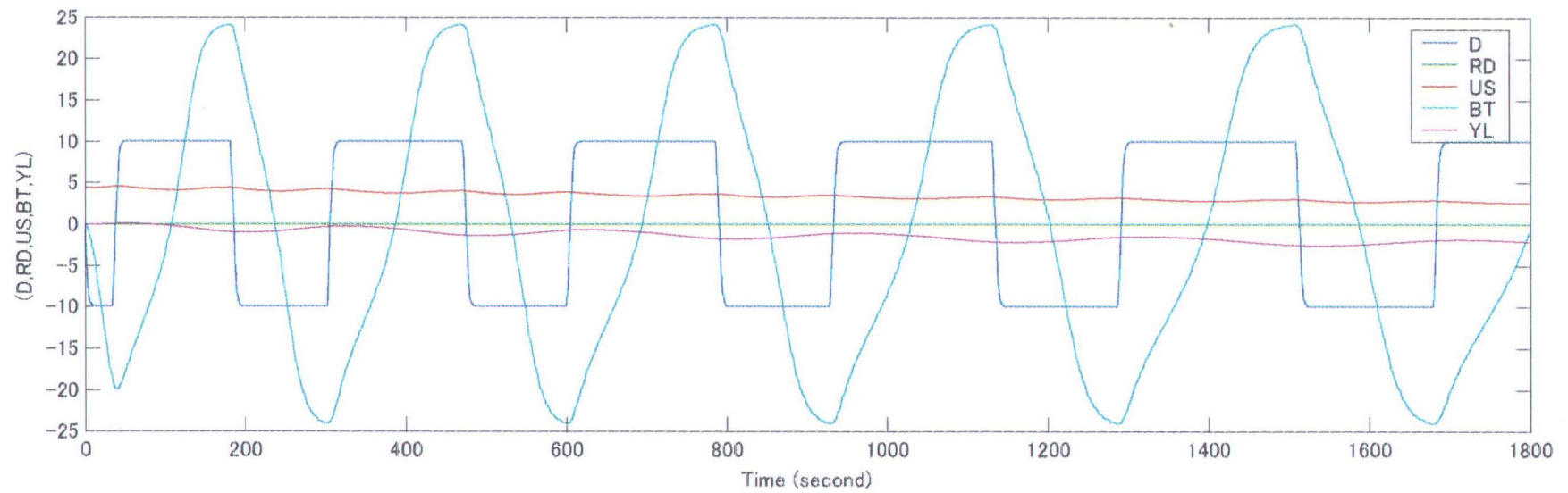
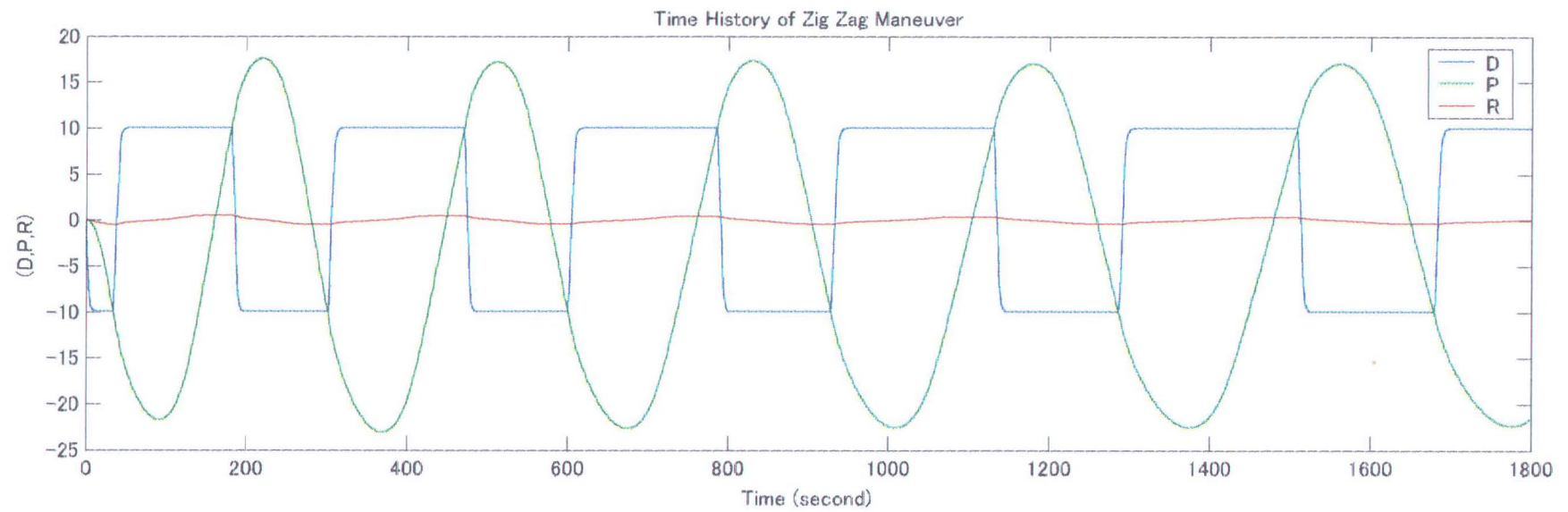


D:\master\Esso Osaka\Zigzag maneuver\d/H 0.667\Delta20

Time History of Zig Zag Maneuver

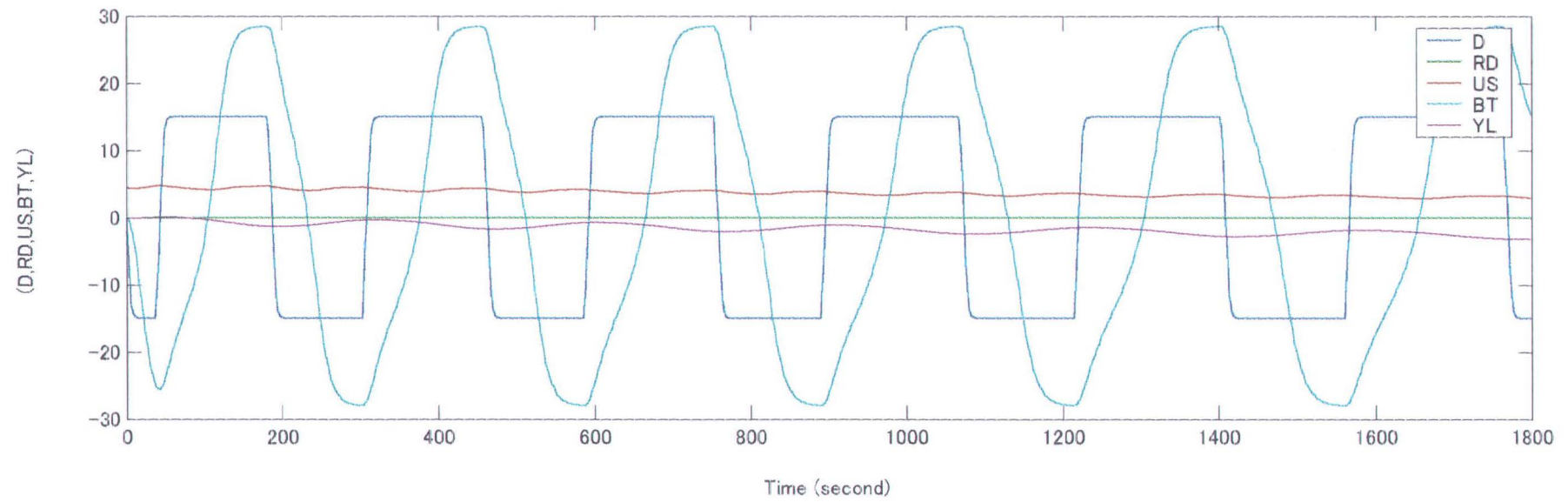
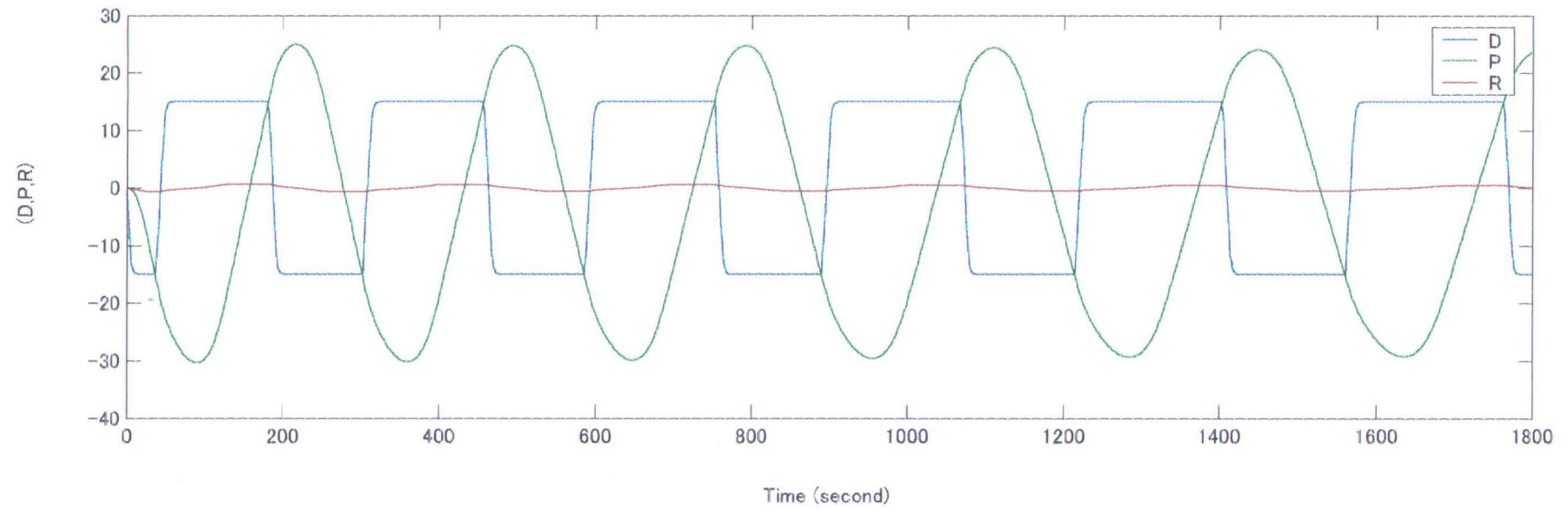


D:\master\RR-742\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta 20\Js 0.375

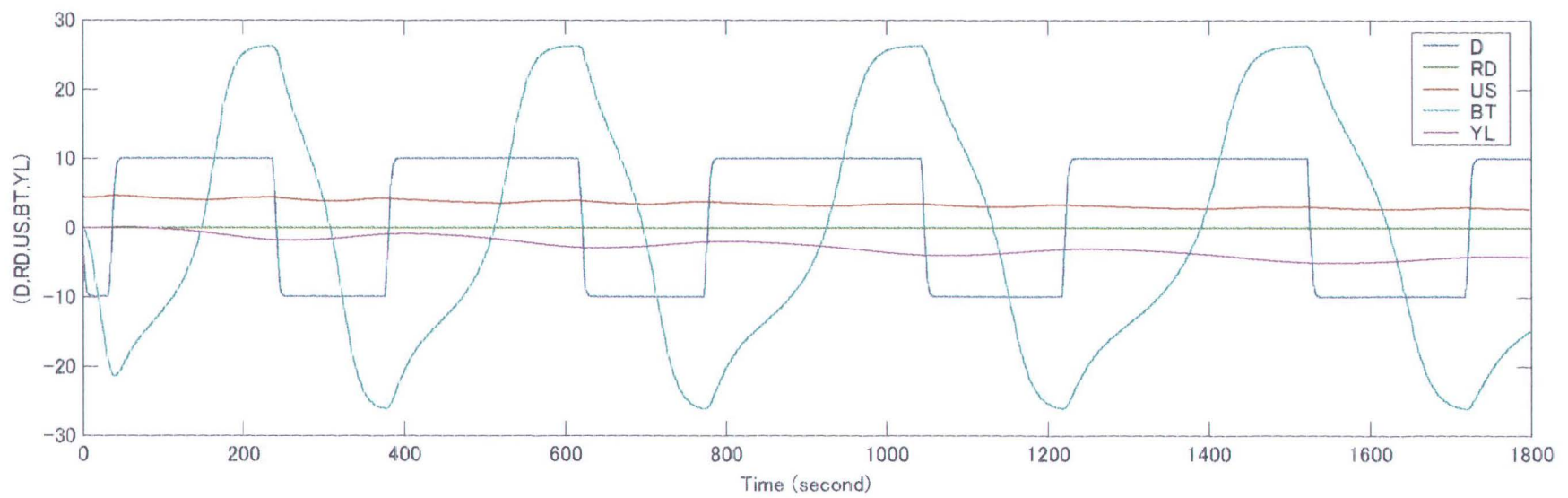
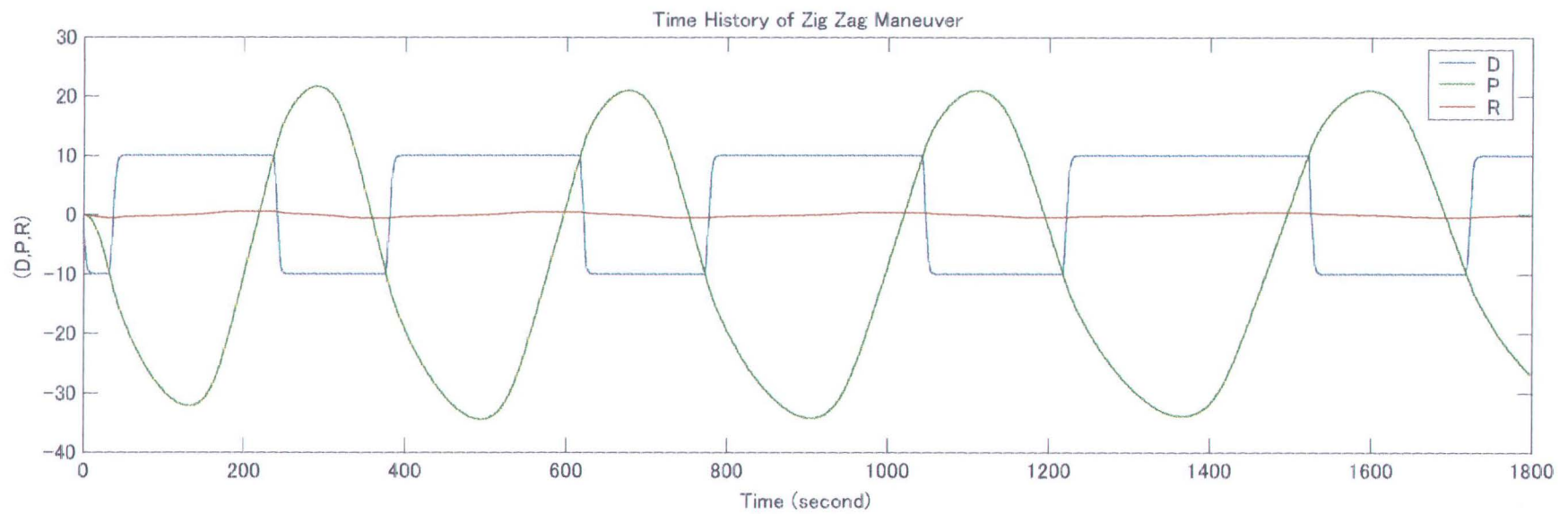


D:\master\RR-742\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta10\Js 0.375

Time History of Zig Zag Maneuver

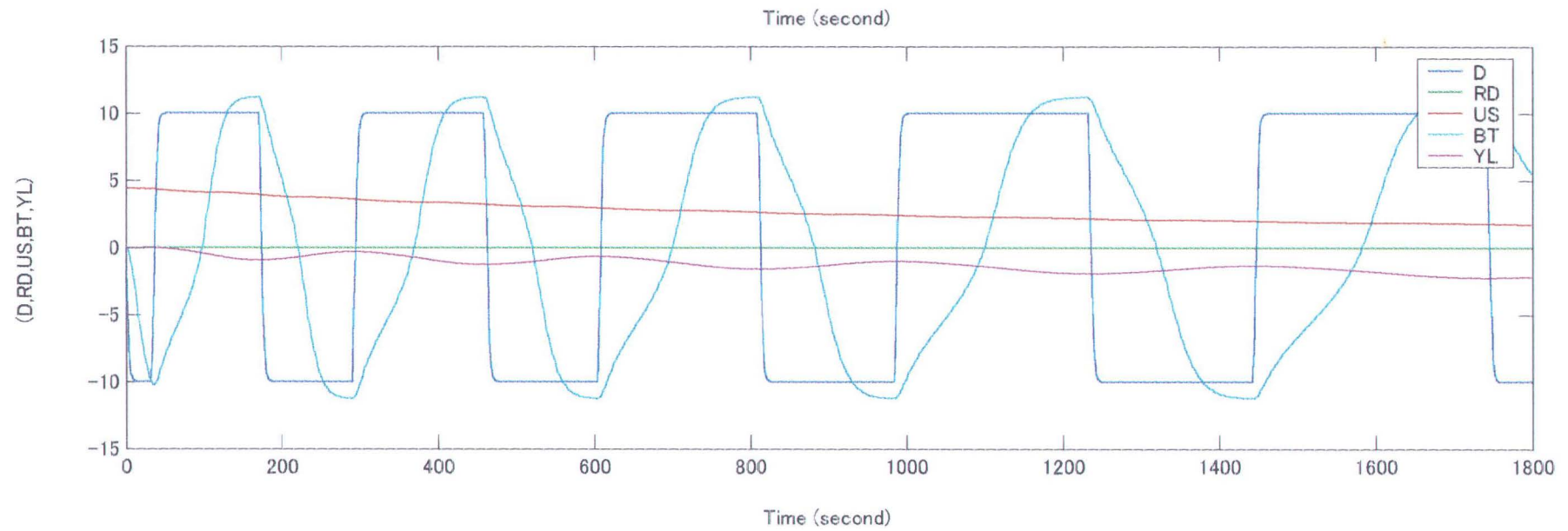
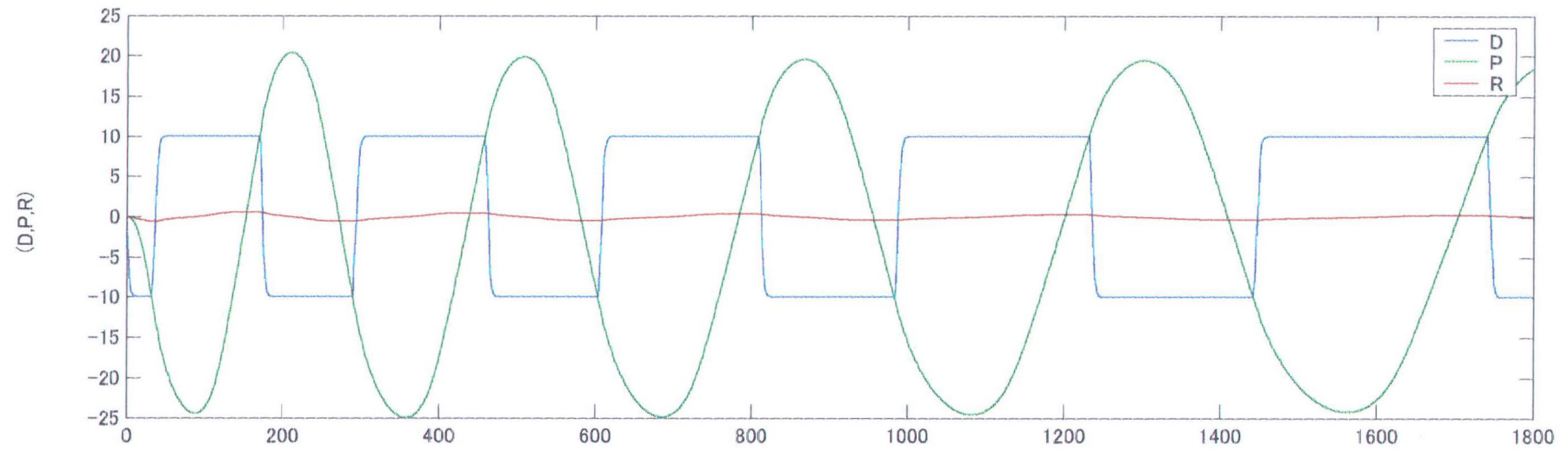


D:\master\RR-742\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta15

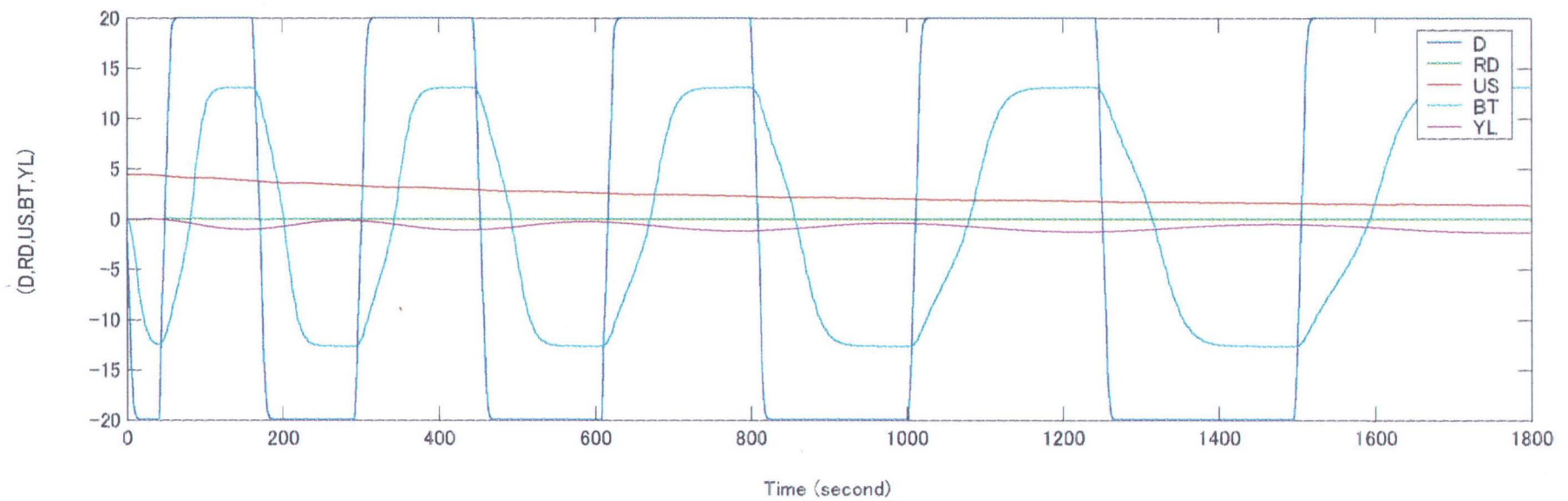
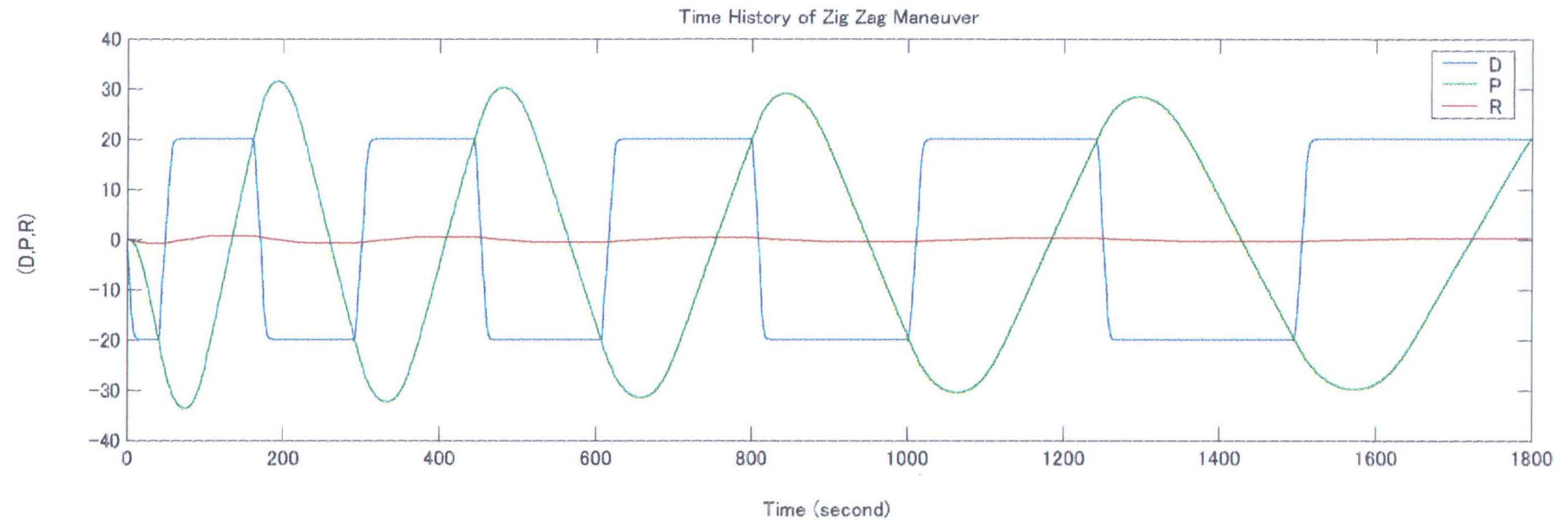


D:\master\RR-742\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta10

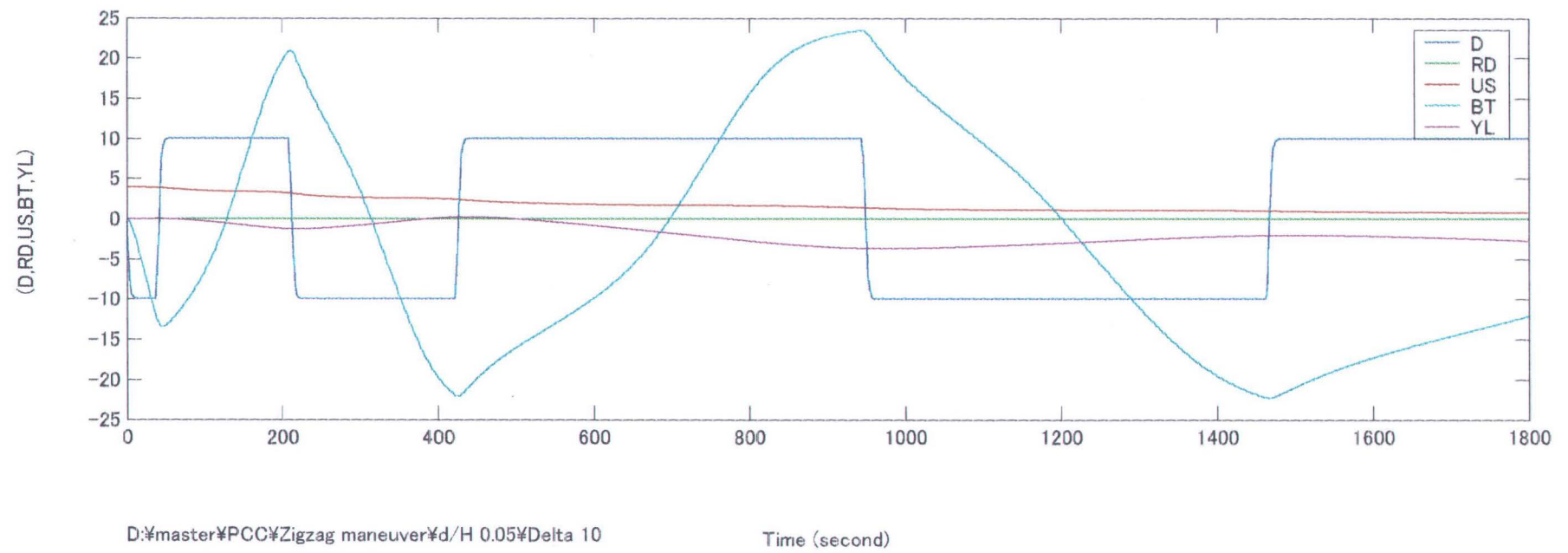
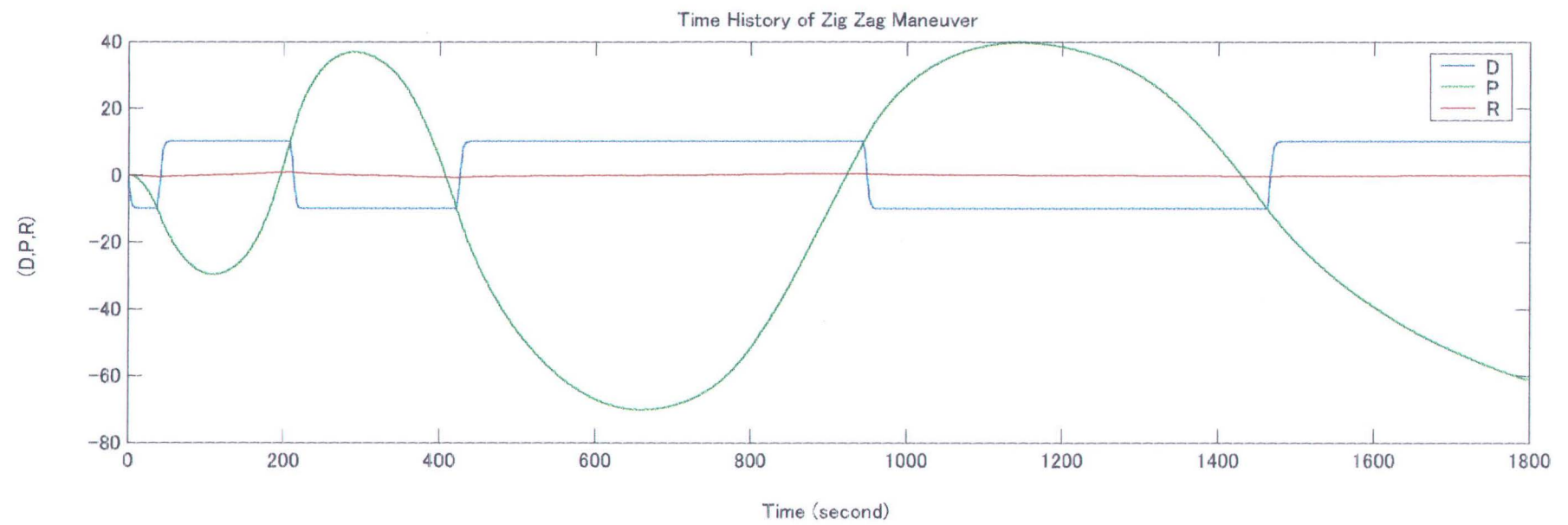
Time History of Zig Zag Maneuver



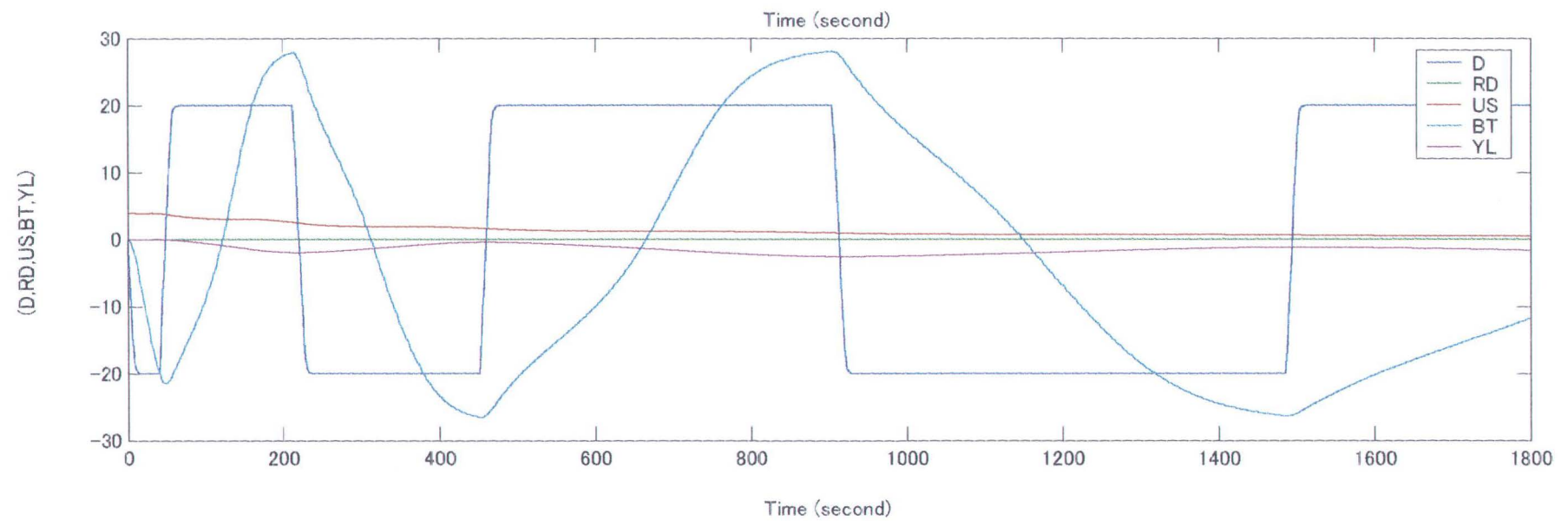
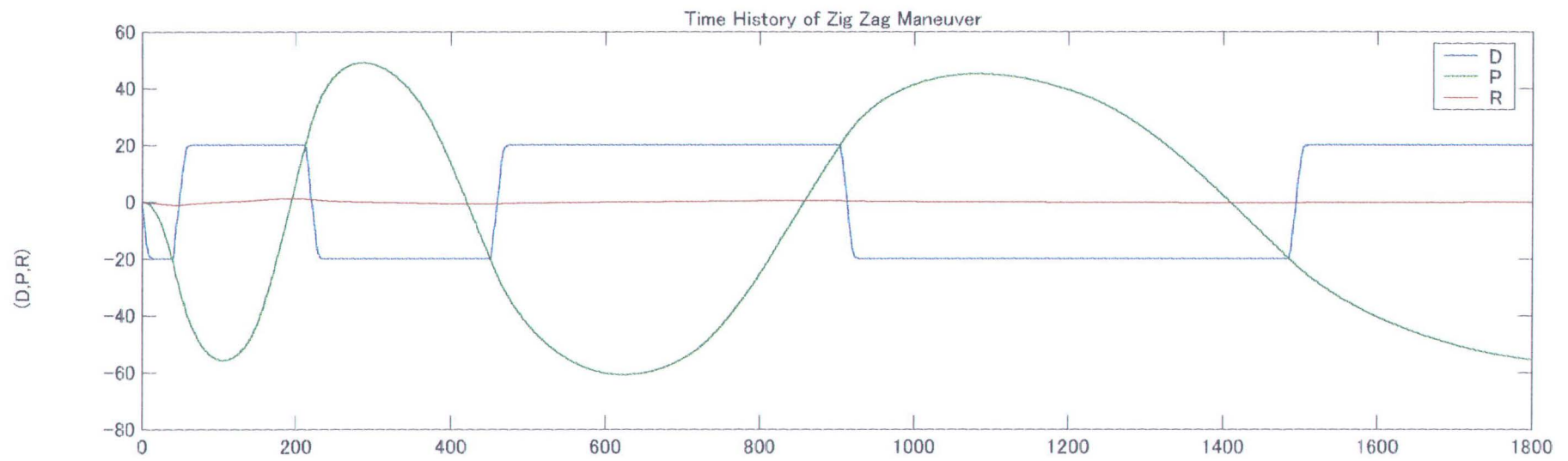
D:\master\RR-742\Zigzag maneuver\d/H 0.667\Delta 10\Js 0.281



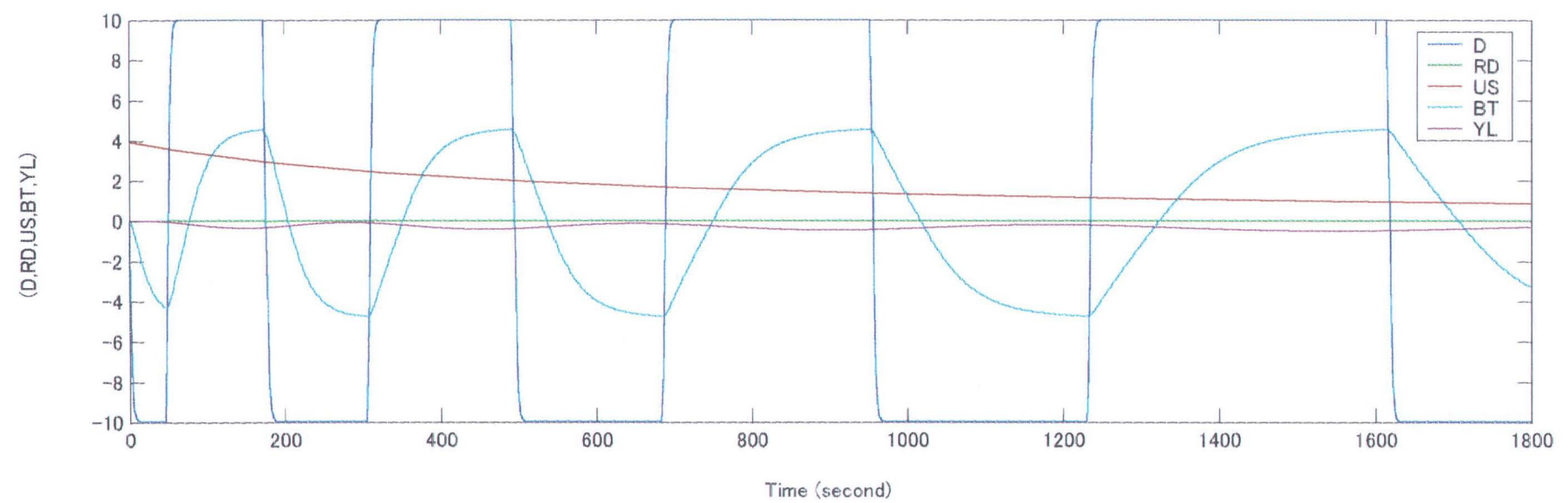
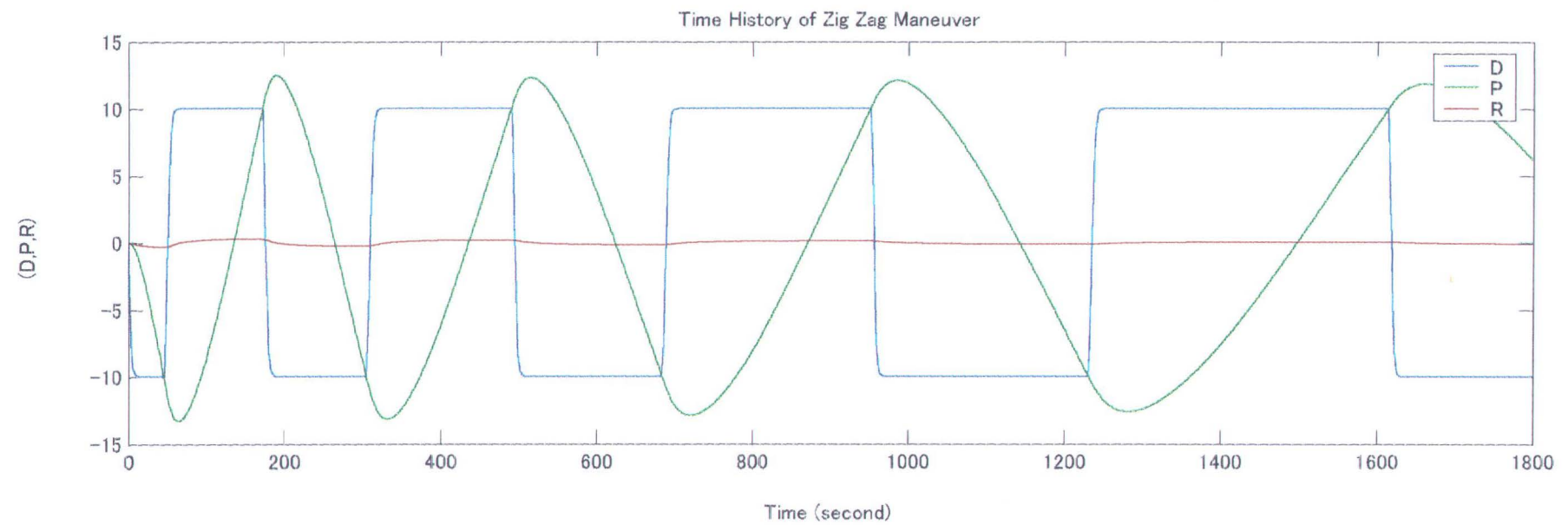
D:\master\RR-742\Zigzag maneuver\d/H 0.667\Delta 20\Js0.281



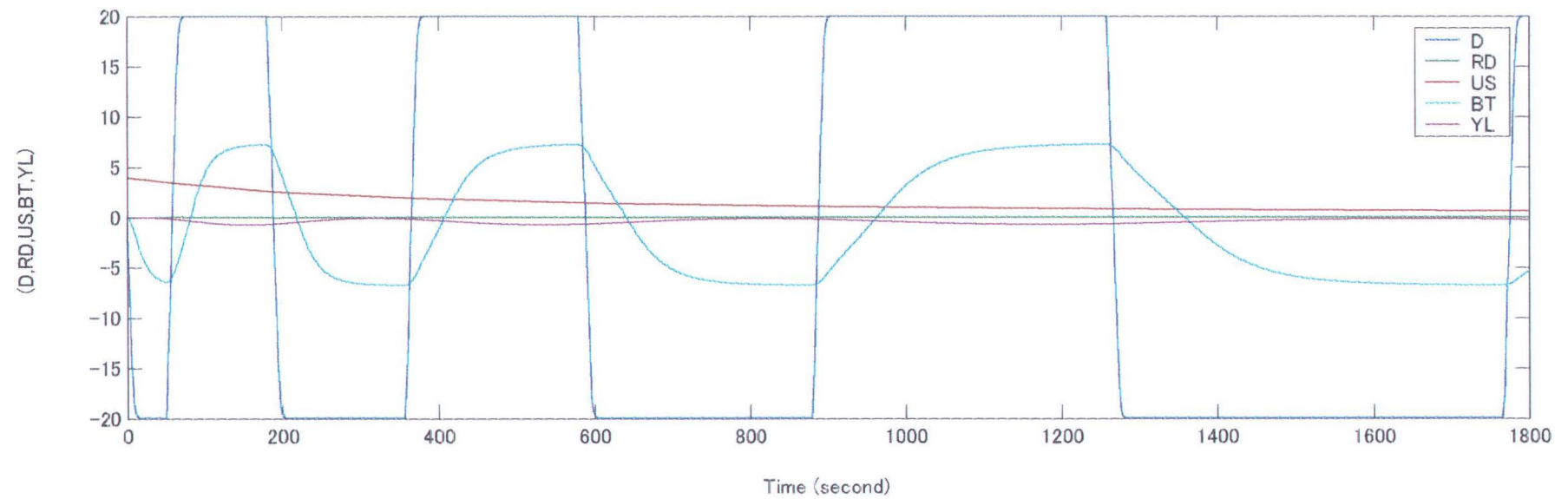
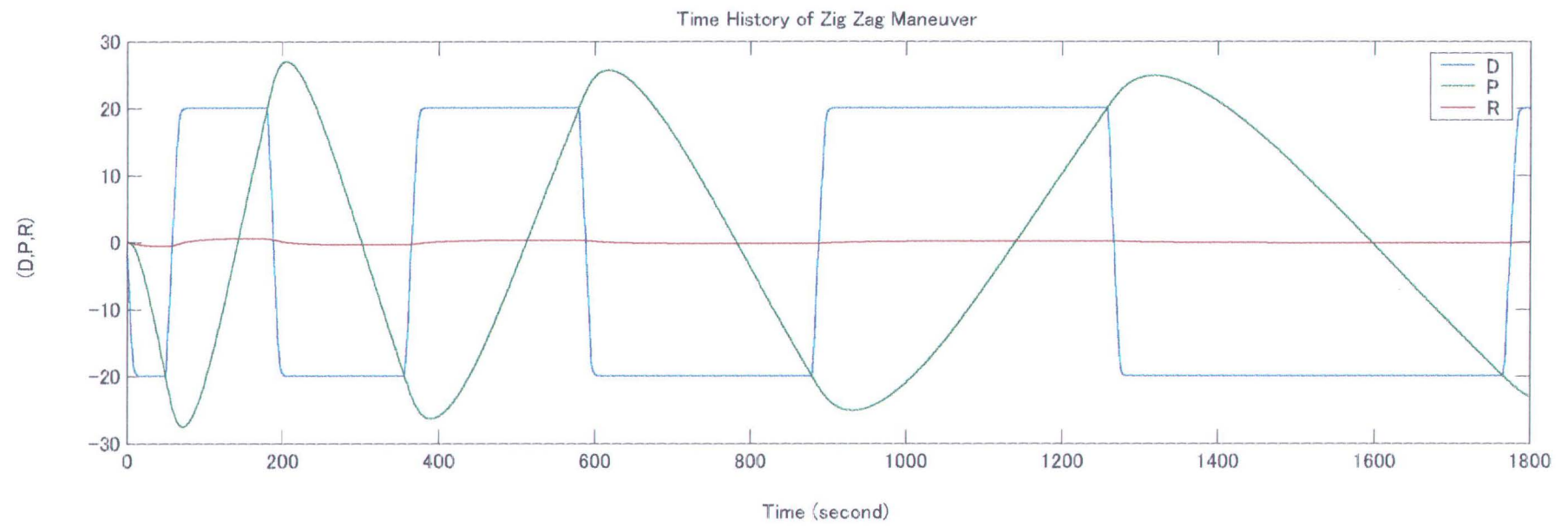
D:\master\PCC\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta 10



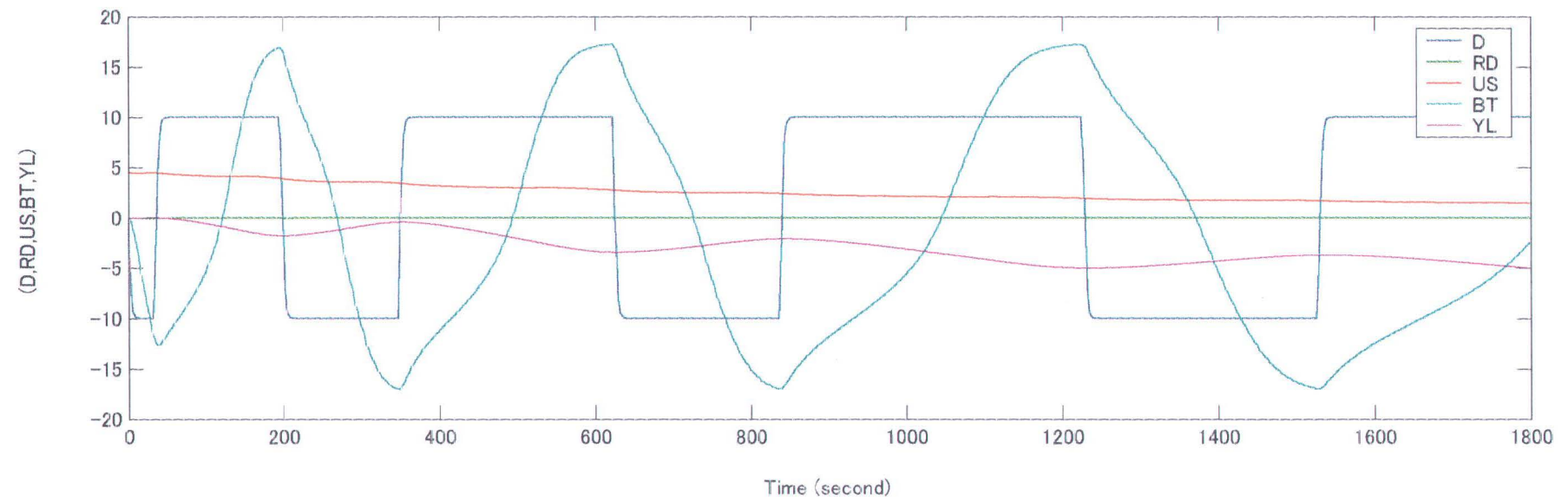
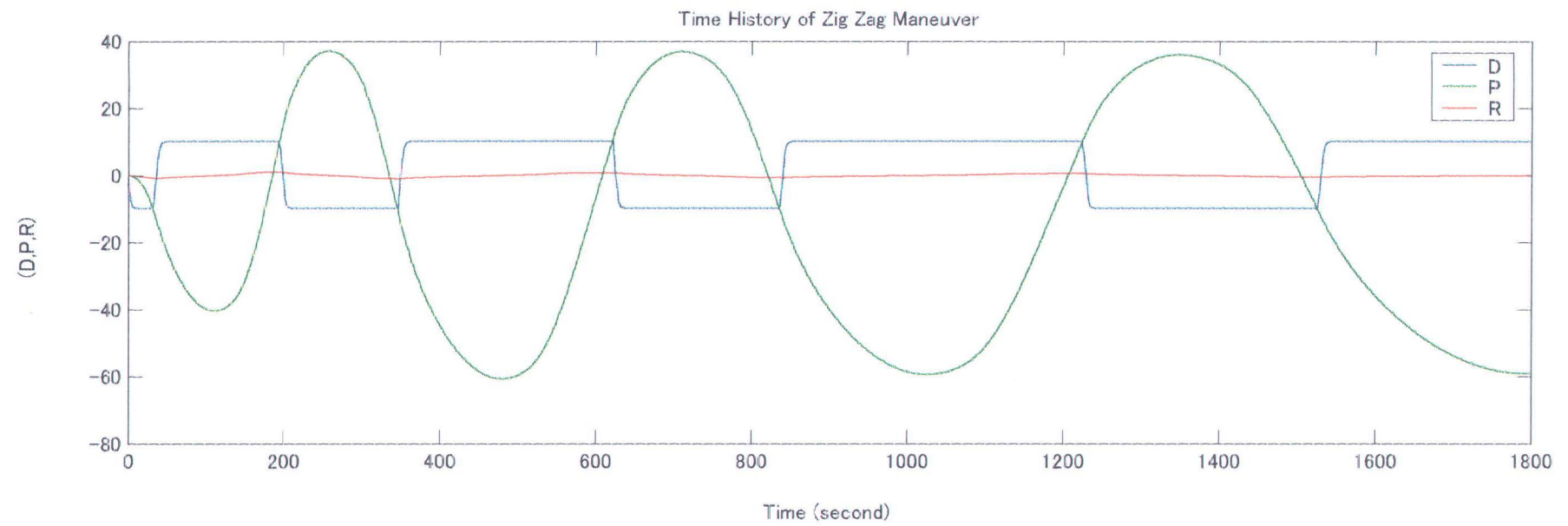
D:\master\PC\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta 20



D:\master\PCC\Zigzag maneuver\d/H 0.667\Delta 10



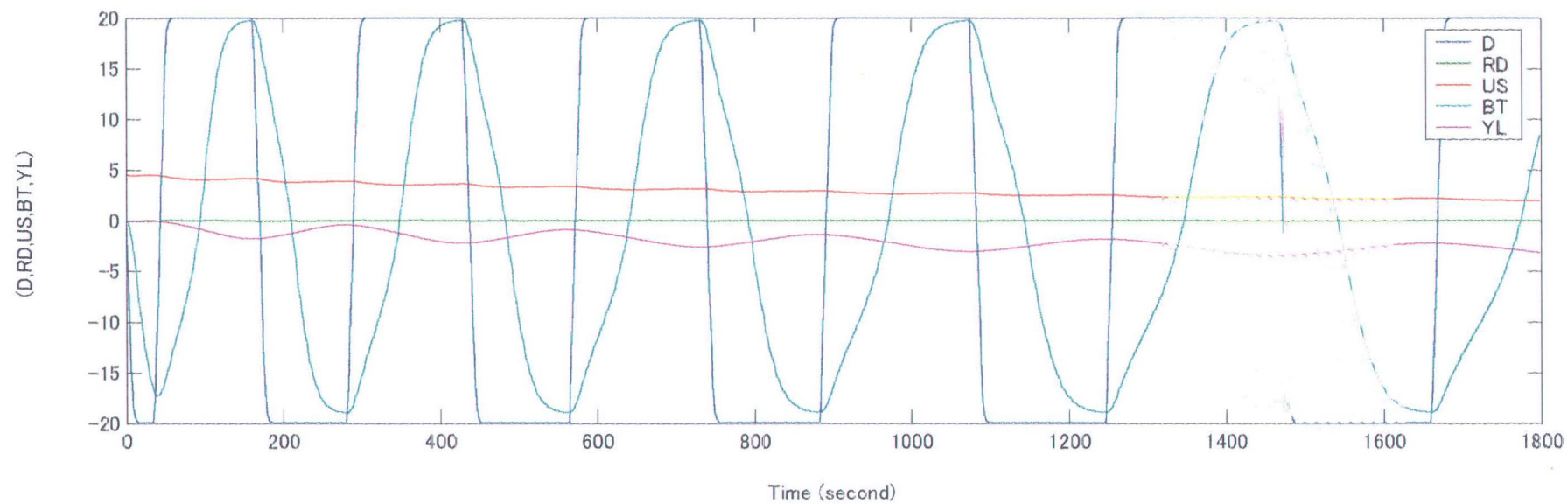
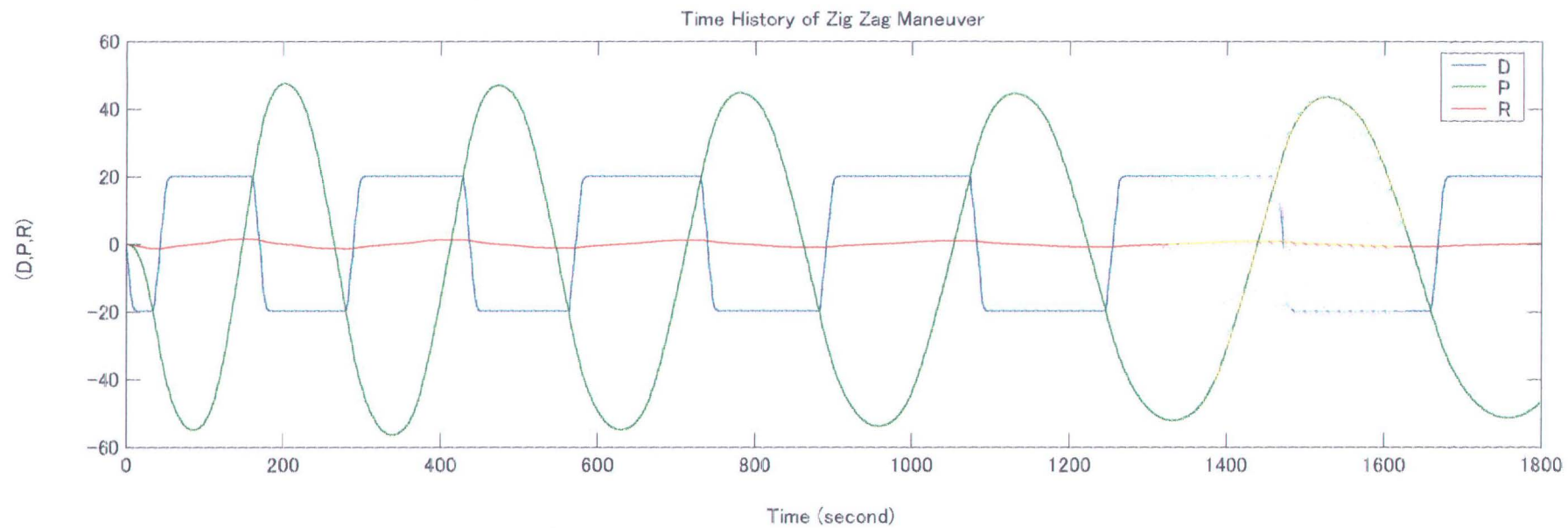
D:\master\PCC\Zigzag maneuver\d/H 0.667\Delta 20



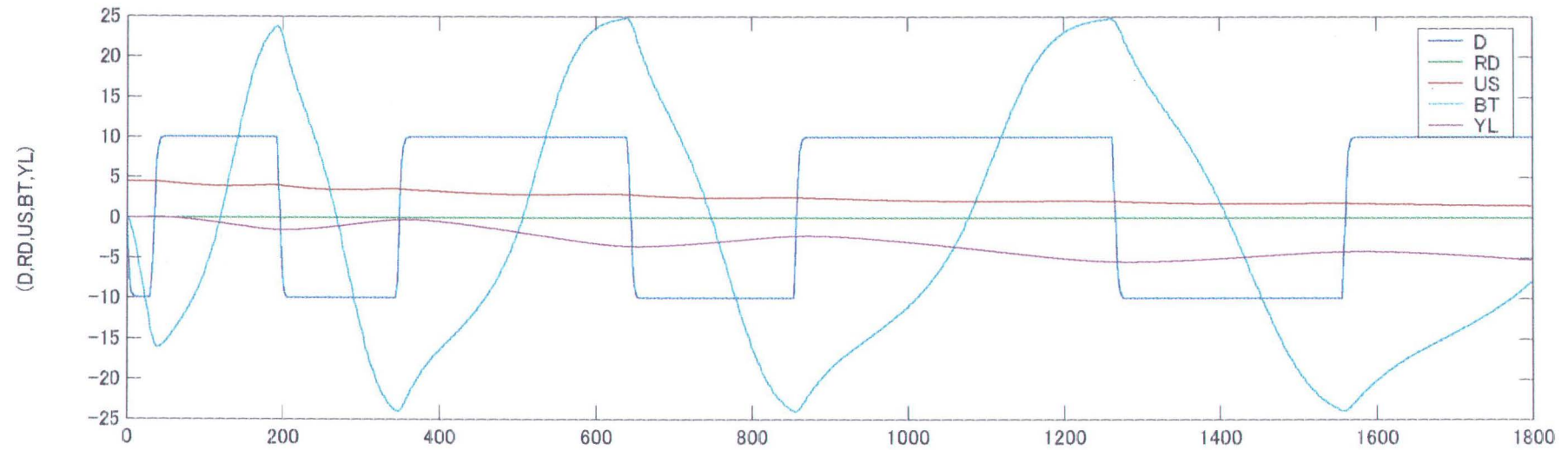
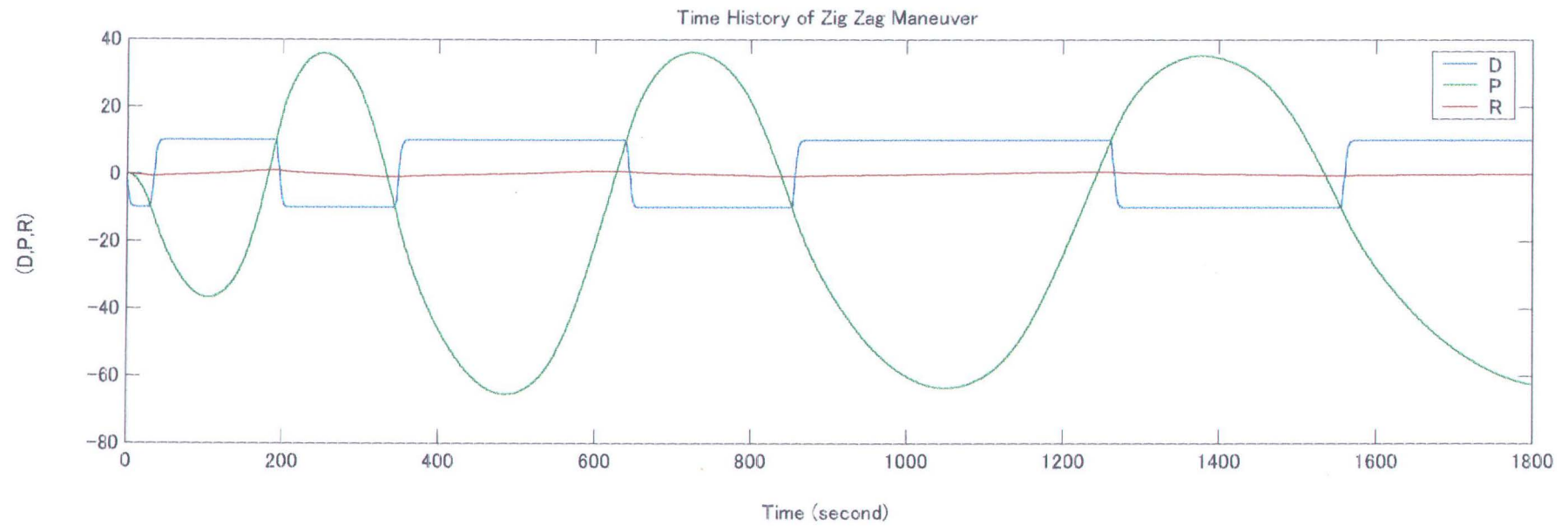
D:\master\SR-108\Zigzag maneuver\H 0.667\Delta 10



BILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

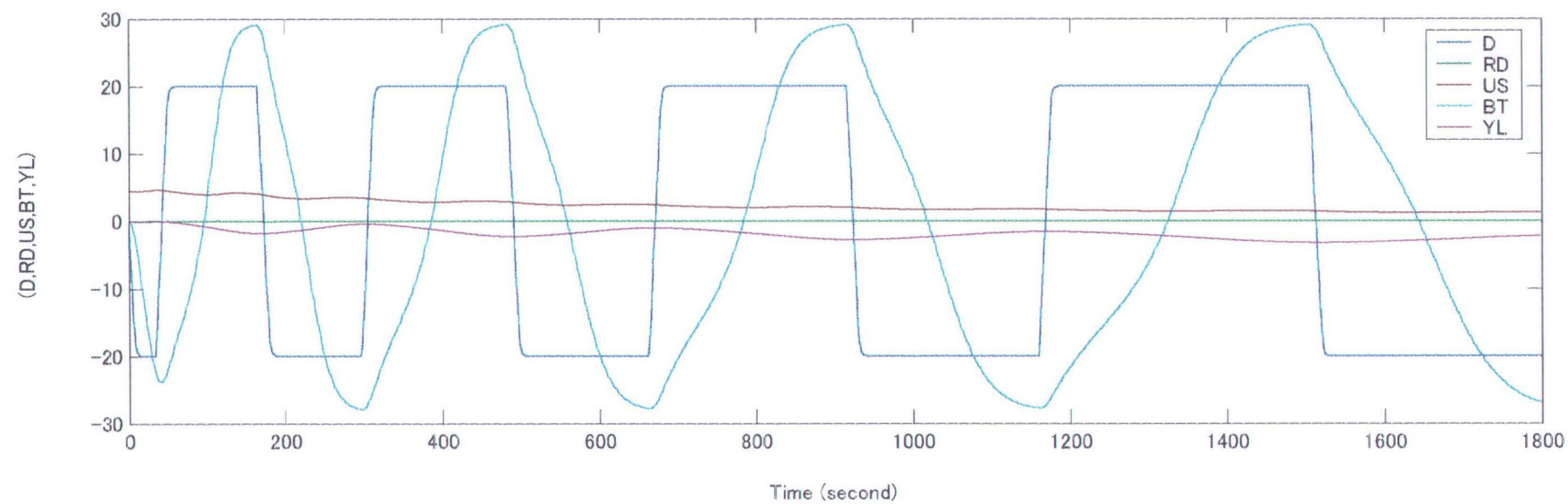
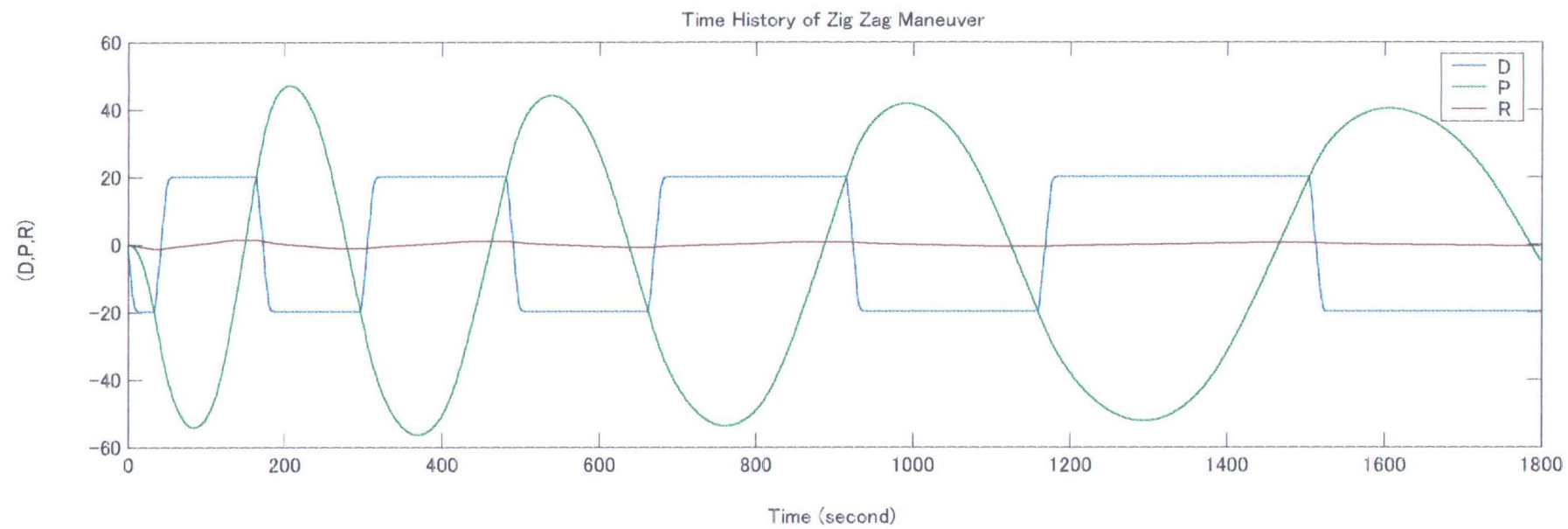


D:\master\SR-108\Zigzag maneuver\%d/H 0.667\Delta 20

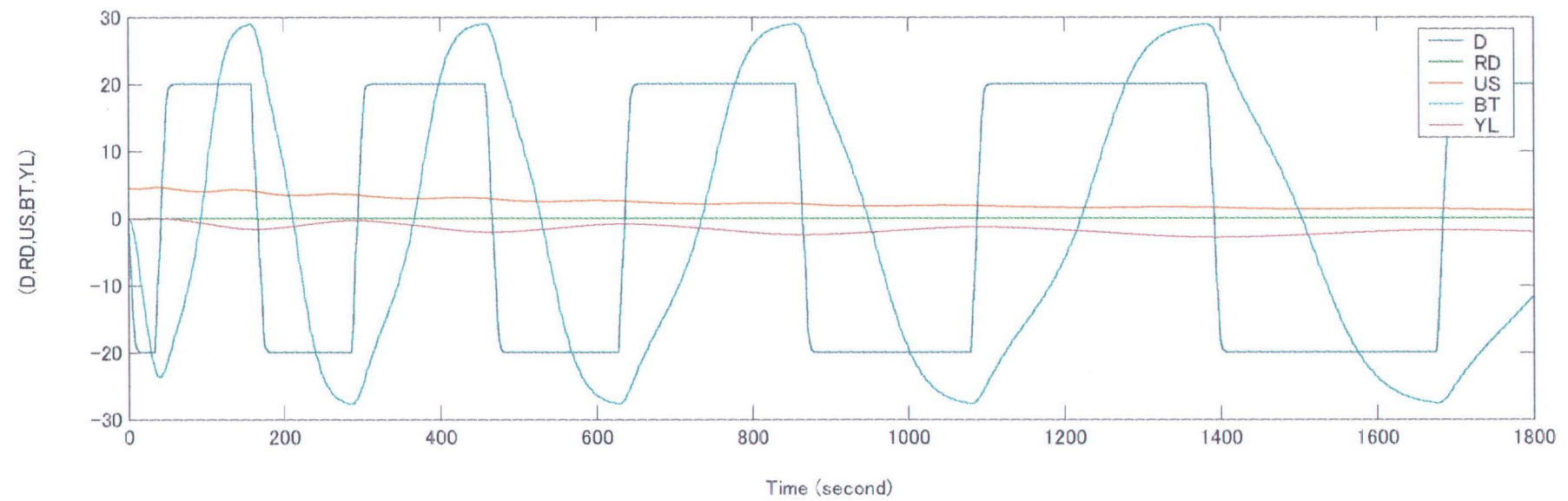
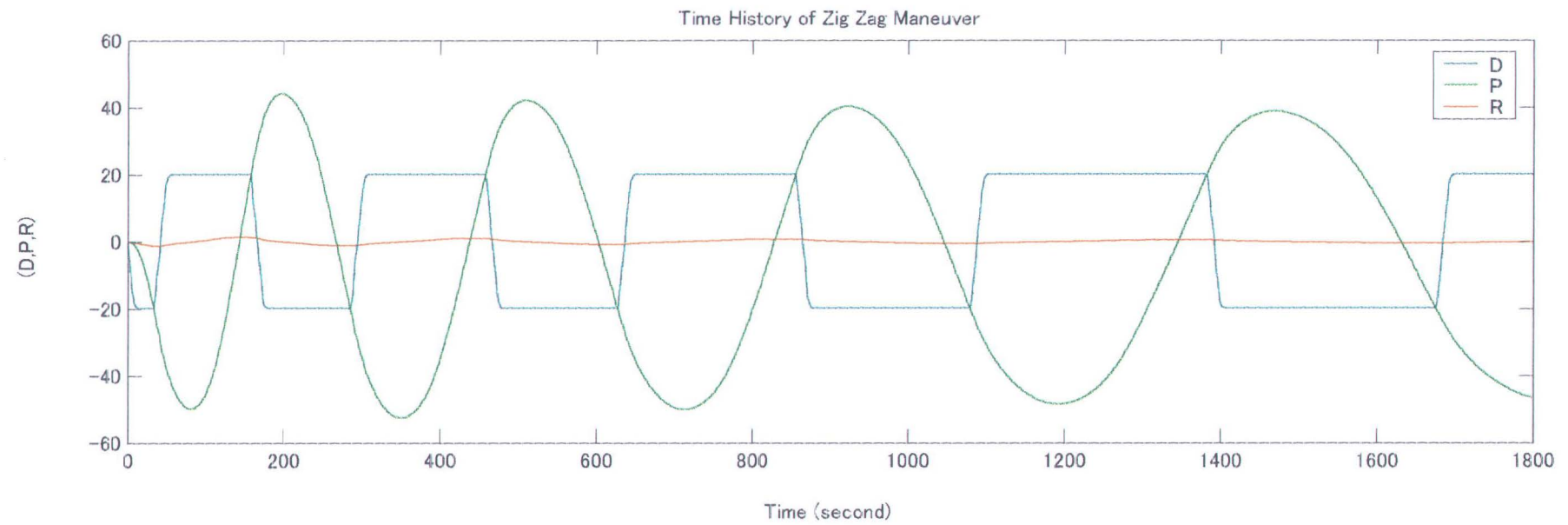


D:\master\SR-108\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta 10

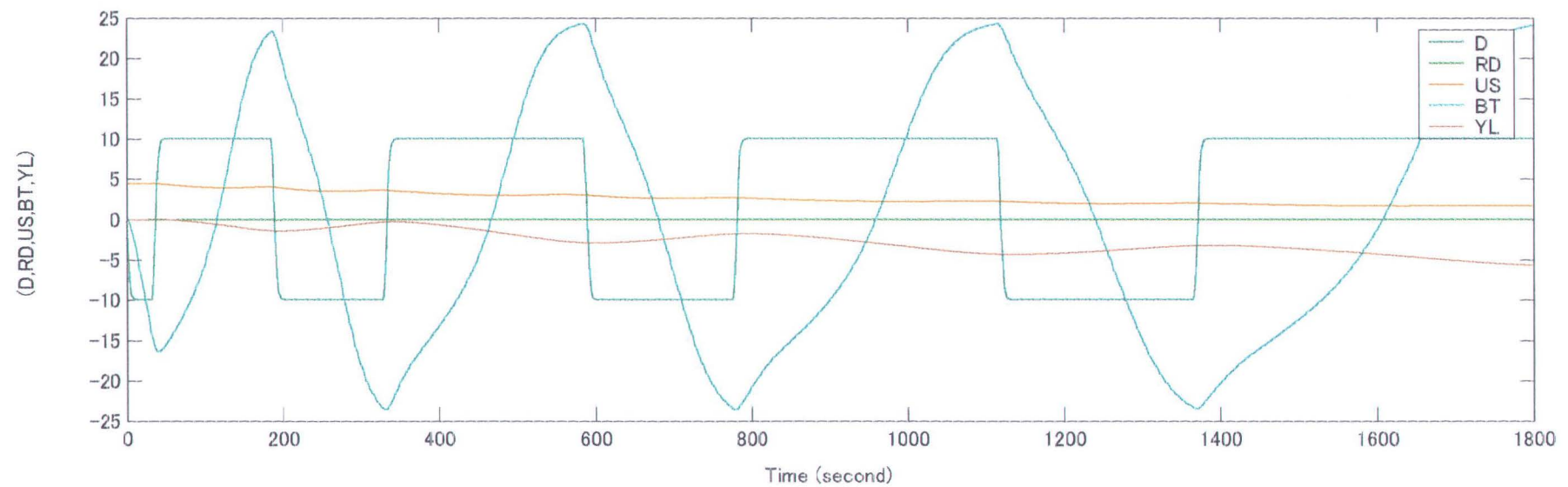
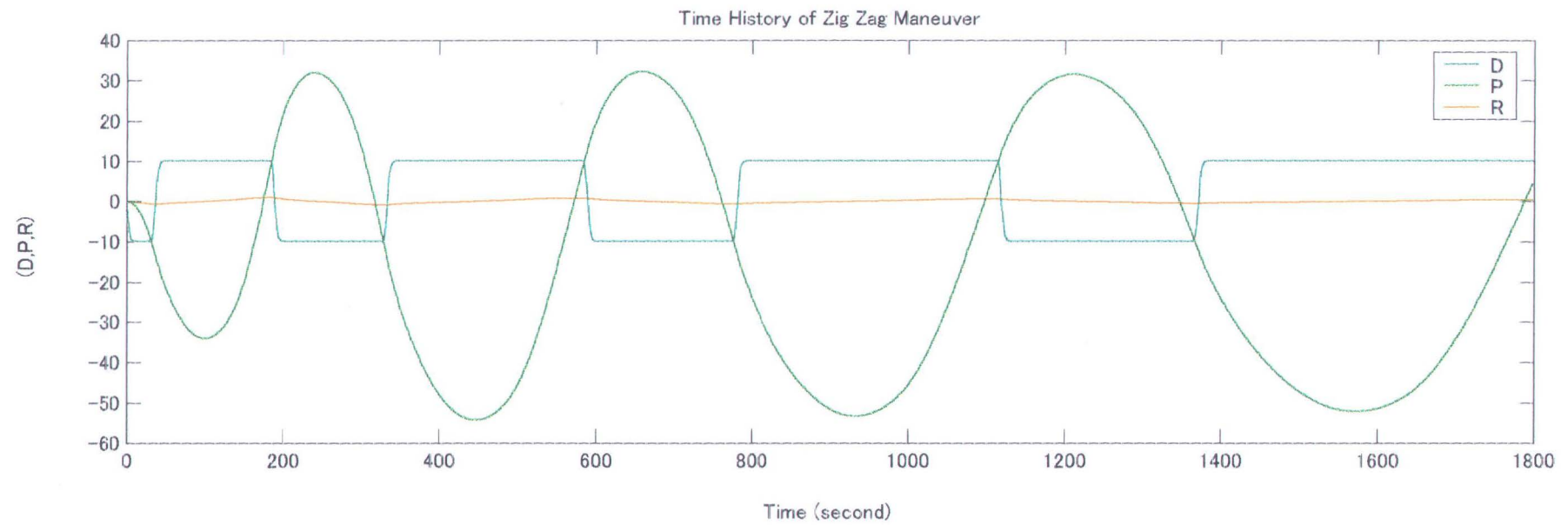
Time (second)



D:\master\SR-108\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta 20



D:\master\SR-108\Zigzag maneuver\d/H 0.05\Delta 20\Js 0.865



D:\master\SR-108\Zigzag maneuver\Yd/H 0.05\Delta 10\Js 0.865


```

1 C Courtesy of Dept.Naval Architecture Faculty of Marine Technology-ITS
2 C Edited by Sigit P.S,GMRINA
3 C
4 C234567
5 C     DIGITAL SIMULATION OF SHIP MANEUVERING
6 C
7     COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
8     COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
9     COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
10    COMMON /CM04/E(10),F(2,10),G(2,10),XTR,BXV,DMXG,NL,IESTM
11    COMMON /CM05/PK(5),PQ(5),TD(10),WK(10),EPS,RKP,CRP
12    COMMON /CM06/SC(10),AH(5),XH(5),DA(5)
13    COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
14    COMMON /CM08/DUP,DLW,CUP,CLW,DTN
15    COMMON /CM09/RV0,D0,US0,BET0,RO,PO,X0,Y0,TO,TQ0,DHP0
16    COMMON /CM10/DAP,RAP,RPL,ISPR,DSPR(30),CPSI,USI
17    COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
18    COMMON /CM12/UMX,RMX,PMX,DMX,BMX,TEND,MSG1(20)
19    COMMON /CM13/R1MX,RD1MX,XXM,YMX,XMN,YMN,MSG2(20)
20    COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(3003),D(3003),
21    *          XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
22
23    COMMON /CM15/SAX,SAY,RHOA,CRA(20),CNA(20),ALPHA(20),
24    *          UAA,PAA,UFA,PFA
25    COMMON /CM20/K1,K2
26 C
27     NTEST=0
28 10    NTEST=NTEST+1
29 C
30     CALL DSMIN(NTEST)
31 C
32     IF(MODE.EQ.8) CALL WINDCL
33 C
34     IF(NTEST.EQ.3000) GO TO 999
35
36     IEND=0
37     TSS=0.
38     NSPR=1
39 20    NCYCL=1
40 C
41 30    CALL RKG01
42 C
43     IF(MODE.LE.4) GO TO 70
44     IF(MODE-6) 40,50,60
45 C
46 40    CALL RSPRL(NCYCL,IEND,TSS)
47     IF(IEND.EQ.1) GO TO 70
48     NCYCL=NCYCL+1
49     GO TO 30
50 C
51 50    CALL SPRL(NCYCL,IEND,NSPR,JSPR)
52     IF(IEND.EQ.1) GO TO 70
53     IF(JSPR.EQ.1) GO TO 20
54     NCYCL=NCYCL+1
55     GO TO 30
56 C
57 60    CALL CCHNG
58 C
59 70    IF(IOUT.EQ.0.OR.IOUT.EQ.2) GO TO 75
60     CALL DSMLP
61 C
62 75    IF(IOUT.LE.1) GO TO 80
63     CALL DSGRP
64 C
65 80    IF(IANL.EQ.0) GO TO 10
66     IF(MODE.EQ.4) GO TO 85

```

```

67      IF(MODE.LE.3) GO TO 90
68      GO TO 10
69 C
70      85      CALL DSMTRN
71      PAUSE
72      GO TO 10
73 C
74      90      CALL DSMKT
75      GO TO 10
76 C
77      999     STOP
78      END
79
80
81      SUBROUTINE DSMIN(NTEST)
82 C
83 C      SUBR.OF DATA INPUT
84 C
85      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
86      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
87      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
88      COMMON /CM04/E(10),F(2,10),G(2,10),XTR,BXV,DMXG,NL,IESTM
89      COMMON /CM05/PK(5),PQ(5),TD(10),WK(10),EPS,RKP,CRP
90      COMMON /CM06/SC(10),AH(5),XH(5),DA(5)
91      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
92      COMMON /CM08/DUP,DLW,CUP,CLW,DTN
93      COMMON /CM09/RV0,D0,US0,BET0,R0,P0,X0,Y0,T0,TQ0,DHPO
94      COMMON /CM10/DAP,RAP,RPL,ISPR,DSPR(30),CPSI,USI
95      COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
96      COMMON /CM12/UMX,RMX,PMX,DMX,BMX,TEND,MSG1(20)
97      COMMON /CM13/R1MX,RD1MX,XXMX,YMX,XMN,YMN,MSG2(20)
98      COMMON /CM15/SAX,SAY,RHOA,CRA(20),CNA(20),ALPHA(20),
99      *      UAA,PAA,UFA,PFA
100     DIMENSION TITL(20),SNO(20)
101 C
102     IF(NTEST.GT.1) GO TO 10
103 C
104 C     CALL PLTBGN ('C1136 ','L')
105 C
106 C
107     OPEN(2,FILE='D:\FORTRAN\INPUTRR742A6.DAT')
108     READ(2,5300) (SNO(I),I=1,20)
109     READ(2,5000) SL,B,DRFTF,DRFTA,CB
110     READ(2,5000) DMAS,DIZ,XG,XP,XR,RHO
111     READ(2,5000) SAX,SAY,RHOA
112     READ(2,5000) PD,PCHR,PEAR,ARLD,FA,PDH,DDMX,DTE
113     TRIM=DRFTA-DRFTF
114     DRF=(DRFTF+DRFTA)/2.
115 C
116     READ(2,5100) IESTM
117     IF(IESTM.EQ.0) GO TO 11
118     CALL DERVT (SL,B,DRF,CB,TRIM,PDH)
119     NDRV=8
120     NL=3
121     ND=1
122     GO TO 12
123 C
124     11      CONTINUE
125     READ(2,5100) NDRV,NL,ND
126     READ(2,5200) (E(I),F(1,I),F(2,I),G(1,I),G(2,I),I=1,NDRV)
127     READ(2,5000) (PK(I),I=1,3)
128     READ(2,5000) (PQ(I),I=1,3)
129     READ(2,5000) (TD(I),I=1,3)
130     READ(2,5000) (WK(I),I=1,8)
131     READ(2,5000) (AH(I),I=1,4)
132     READ(2,5000) (XH(I),I=1,3)

```



```

133      READ(2,5000) (SC(I),I=1,8)
134      READ(2,5000) (DA(I),I=1,2)
135      READ(2,5000) EPS,RKP
136      READ(2,5000) XTR,BXV
137      12  CONTINUE
138      READ(*,5000) (CRA (I),I=1,19)
139      READ(*,5000) (CNA (I),I=1,19)
140      READ(*,5000) (ALPHA(I),I=1,19)
141  C
142      5000  FORMAT(8F10.0)
143      5100  FORMAT(16I5)
144      5200  FORMAT(5F10.0)
145  C
146      WRITE(6,6000) SNO,SL,B,DRF,DRFTF,DRFTA,TRIM,CB,DMAS,DIZ,XG,XP,XR,
147      *      PD,PCHR,PEAR,ARLD,FA,PDH,DDMX,DTE,SAX,SAY,RHO,RHOA
148      PAUSE
149      WRITE(6,6100) NL,ND,IESTM,
150      *      (I,E(I),F(1,I),F(2,I),G(1,I),G(2,I),I=1,NDRV)
151      PAUSE
152      WRITE(6,6200) (PK(I),I=1,3), (PQ(I),I=1,3), (TD(I),I=1,3),
153      1      (WK(I),I=1,8), (AH(I),I=1,4), (XH(I),I=1,3),
154      2      (SC(I),I=1,8), (DA(I),I=1,2), EPS,RKP,XTR,BXV
155      PAUSE
156      WRITE(6,6250)
157      DO 200 I=1,19
158      J=(I-1)*10
159      WRITE(6,6255) J,CRA(I),CNA(I),ALPHA(I)
160      200  CONTINUE
161      WRITE(6,6300)
162  C
163      6000  FORMAT(1H1///15X,'*COMMON INPUT DATA*'/10X,
164      *      'SHIP NAME',5X,20A4//10X,'SHIP LENGTH',9X,F8.3,' (M)'/10X,
165      *      'BREADTH',14X,F7.3,' (M)'/10X,
166      *      'MEAN DRAFT (DF,DA)',3X,F7.3,' (M) ('',2F7.3,' )'/10X,
167      *      'TRIM',17X,F7.3,' (M)'/10X,'BLOCK COEF. CB',8X,F6.3/10X,
168      2      'MASS (*E+3)',10X,F7.3/10X,'IZZ (*E+3)',11X,F7.4/10X,
169      3      'XG,XP,XR',11X,3F10.4/10X,'PROP. DIA',13X,F7.4,' (M)'/10X,
170      4      'PITCH RATIO',11X,F7.4/10X,'E.A.R.',16X,F7.4/10X,
171      5      '1/(AR/L*D)',11X,F7.3/10X,'FA (GAMMA)',12X,F7.4/10X,
172      *      'PROP.DIA/RUD.HEIGHT',3X,F6.3/10X,
173      6      'STEER.RATE',11X,F7.3,' (DEG/SEC)'/10X,
174      7      'TIME CONST. (STEER)',3X,F6.3,' (SEC) '/10X,
175      8      'PROJ.AREA ABOVE W.L' /10X,'FRONT & SIDE VIEW',1X,2F11.4,
176      9      ' (M*M) '/10X,'DENS.OF WATER,AIR',4X,2F8.4,' (KG*S*S/M**4) '//)
177      6100  FORMAT(10X,'HYDRO DYNAMIC DERIVATIVES (*E+3)',/7X,
178      *      'NL=',I2,3X,'ND=',I2,3X,' IESTM=',I2/12X,
179      *      'E',12X,'F1',10X,'F2',10X,'G1',10X,'G2'/(I5,5F12.4))
180      6200  FORMAT(/8X,'KT ----',3F8.4/8X,'KQ ----',3F8.4/8X,
181      1      '1-T ----',3F8.4/8X,'1-W ----',8F8.4/8X,
182      2      'AH ----',4F8.4/8X,'XH ----',3F8.4/8X,
183      3      'SC ----',8F8.4/8X,'DA ----',2F8.4/8X,
184      4      'EPS,KAPPA-',2F8.4/8X,'1-TR,BETV-',2F8.4)
185      6250  FORMAT (1H1//8X, '* COEFFICIENTS OF WIND DISTURBANCE */7X,
186      *      'PSIA', 5X, 'CR', 8X, 'CN',7X, 'SUDUT ALPHA')
187      6255  FORMAT(5X,I5,2F10.3,F10.2)
188      6300  FORMAT(1H1)
189  C
190      RL2=RHO*SL*SL/2.
191      IF (ND.NE.0) RL2=RHO*SL*DRF/2.
192      RL3=RL2*SL
193      RL4=RL3*SL
194      RL5=RL4*SL
195      RAR=RHO*SL*DRF/ARLD/2.
196      RD4=RHO*PD**4
197      PAI=3.141593
198      DEG=180./PAI

```



```

199 C
200     S=1000.
201     DO 100 I=1,NDRV
202     E (I)=E (I)/S
203     F (1,I)=F(1,I)/S
204     F (2,I)=F(2,I)/S
205     G (1,I)=G(1,I)/S
206     G (2,I)=G(2,I)/S
207 100  CONTINUE
208     DMAS=DMAS/S
209     DIZ =DIZ/S
210     DMXG=DMAS*XG
211     E(1)=(DMAS-E(1))*RL3
212     E(2)=(DMAS+E(2))*RL3
213     E(3)=E(3)*RL2
214     E(4)=(DMXG+E(4))*RL4
215     E(5)=E(5)*RL2
216     E(6)=E(6)*RL2
217     E(7)=E(7)*RL2
218     F(1,1)=DMAS-F(1,1)
219     F(1,2)=DMXG-F(1,2)
220     G(1,1)=DMXG-G(1,1)
221     G(1,2)=DIZ+DMXG*XG-G(1,2)
222     BXV=ABS(BXV/DEG)
223     XG=XG*SL
224     XP=XP*SL
225     XR=XR*SL
226     XH(1)=XH(1)*SL
227     XH(2)=XH(2)*SL
228     XH(3)=XH(3)*SL
229     PCH=PCHR*PD
230     AE =PEAR*PAI*PD*PD/4.
231     CRP=-62.*AE/SQRT(1.+0.52*PCHR*PCHR)
232 C
233 10  OPEN(4,FILE='D:\FORTRAN\MODE1RR742A6.DAT')
234     READ(4,5300,END=999)(TITL(I),I = 1,20)
235     READ(4,5100) MODE,NDATA,IPC,ISP,IOUT,IANL,ISAMP
236     READ(4,5000) H,DT
237     READ(4,5000) UAA,PAA,UFA,PFA
238     READ(4,5000) US0,RV0,BET0,R0,D0,P0,X0,Y0
239     IF(MODE.LT.1.OR.MODE.GT.8) GO TO 99
240     IF(IOUT.LT.0.OR.IOUT.GT.3) GO TO 99
241     IF(IPC .LT.1.OR.IPC .GT.5) GO TO 99
242     IF(IPC .EQ.2.OR.IPC .EQ.3) READ(4,5200) TQ0,DHP0
243     IF(MODE.EQ.1.OR.MODE.EQ.2) READ(4,5200) DUP,DLW,CUP,CLW
244     IF(MODE.EQ.3) READ(4,5400) IST,(TR(I),DST(I),I=1,IST)
245     IF(MODE.EQ.4) READ(4,5200) DTN
246     IF(MODE.EQ.5) READ(*,5200) RPL,RAP,DAP
247     IF(MODE.EQ.6) READ(*,5400) ISPR,(DSPR(I),I=1,ISPR)
248     IF(MODE.EQ.7) READ(*,5200) CPSI
249     IF(IPC .EQ.4) READ(*,5500) IPR,(NTRP(I),REV(I),I=1,IPR)
250     IF(IPC .EQ.5) READ(*,5400) IPR,(TP(I),REV(I),I=1,IPR)
251     IF(IOUT.GE.2) READ(*,5600) UMX,RMX,PMX,DMX,BMX,TEND,
252 *      R1MX,RD1MX,XXM,YMX,XMN,YMN,MSG1,MSG2
253 C
254 5300  FORMAT (20A4)
255 5400  FORMAT (I5/ (7F10.0))
256 5500  FORMAT (I5/ (5(I5, F10.0)))
257 5600  FORMAT (6F10.0/ 6F10.0/ 20A4/ 20A4)
258 C
259     IF (NDATA.GT.3001) NDATA=3001
260     IF (ISAMP.LE.0) ISAMP=1
261     IF (DT*H.LE.0.) GO TO 99
262     IF (MODE.GE.3 ) GO TO 20
263     IF (DUP.LT.DLW) GO TO 99
264     IF (CUP.LT.CLW) GO TO 99

```

```

265 C
266 20 KDT=JNT (DT/H)
267 IF (KDT.LE.0) KDT=1
268 DT= H*FLOAT(KDT)
269 CUP=CUP/DEG
270 CLW=CLW/DEG
271 USI=US0
272 C
273 IF (MODE.NE.5) GO TO 30
274 DAP=ABS(DAP)
275 DUP=D0+DAP
276 DLW=D0-DAP
277 RAP=ABS(RAP)
278 CUP=(RPL+RAP)/DEG
279 CLW=(RPL-RAP)/DEG
280 IF (NDATA.GT.300) NDATA=300
281 C
282 30 IF (MODE.NE.6) GO TO 40
283 DTN=DSPR(1)
284 C
285 40 IF (MODE.NE.7) GO TO 50
286 IF (ISP.EQ.0) ISP=1
287 SP=FLOAT(ISP)
288 CUP=SIGN (CPSI,SP) / DEG
289 CLW=CUP
290 IF (ISP.LT.0) GO TO 45
291 DUP=15.
292 DLW=-7.
293 GO TO 50
294 45 DUP=7.
295 DLW=-15.
296 C
297 50 WRITE (6,6400) NTEST,(TITL(I),I=1,20)
298 WRITE (6,6500) NDATA,H,DT,US0,RV0,BET0,R0,D0,P0,X0,Y0
299 IF(IPC.EQ.2.OR.IPC.EQ.3) WRITE(6,6600) IPC,TQ0,DHP0
300 WRITE (6,6650) UAA, PAA, UFA, PFA
301 6400 FORMAT(////6X,'*** TEST NO.',I3,' *** ',1X,20A4)
302 6500 FORMAT(1X,'INITIAL CONDITION (NDATA,H,DT)',I5,2F5.2/
303 * 1X,'(US0,RV0,BET0,R0,D0,P0,X0,Y0)',49X,8F8.3)
304 6600 FORMAT(1X,'(IPC,TQ0,DHP0)',I3,2E16.6)
305 6650 FORMAT(1X,'DISTURBANCE WIND (UA,PA),FLOW(UF,PF)(',
306 * F7.3,F8.1,') (',F6.3,F8.1,')')
307 C
308 T0=0.
309 RETURN
310 C
311 99 WRITE(6,6900) DT,H,DUP,DLW,CUP,CLW,MODE,IOUT,IPC
312 6900 FORMAT(//1X,'*INPUT DATA IS INCORRECT */1X,
313 * '(DT,H,DUP,DLW,CUP,CLW,MODE,IOUT,IPC)',41X,6F8.3,3I5)
314 999 NTEST=999
315 C
316 IF(IOUT.GE.2.OR.UMX.NE.0.) CALL PLTEND
317 RETURN
318 END
319
320 SUBROUTINE DERVT(SL,B,DRF,CB,TRIM,PDH)
321 C
322 COMMON /CM04/E(10),F(2,10),G(2,10),XTR,BXV,DMXG,NL,IESTM
323 COMMON /CM05/PK(5),PQ(5),TD(10),WK(10),EPS,RKP,CRP
324 COMMON /CM06/SC(10),AH(5),XH(5),DA(5)
325 DATA A10,A11,A12,A13/-1.5708,0.0467,-3.99,9.93/,
326 * A20/0.723/,A30,A31/0.526,-13.7/,A40,A41/-0.0225,-0.191/,
327 * A50,A51/-0.266,1.08/,A60,A61/0.410,-0.864/
328 DATA B10/-1.0/,B20,B21/-0.806,2.50/,
329 * B30,B31,B32/0.0182,-0.225,0.747/,
330 * B40,B41,B42/-0.108,1.32,-4.40/,

```



```

331      *      B50,B51/0.0608,-0.409/,
332      *      B60,B61,B62,B63,B64/-16.467,494.28,-5476.4,26382.,-46786./
333 C
334      DO 100 I=1,10
335      E(I)=0.
336      F(1,I)=0
337      F(2,I)=0.
338      G(1,I)=0.
339      G(2,I)=0.
340      TD(I)=0.
341      WK(I)=0.
342      SC(I)=0.
343      100    CONTINUE
344      DO 110 I=1,5
345      PK(I)=0.
346      PQ(I)=0.
347      AH(I)=0.
348      XH(I)=0.
349      DA(I)=0.
350      110    CONTINUE
351 C
352 C      ADDED MASS, RESIST.COEFF.,PROP.OPEN, SELF-PROP. FACTOR
353      READ(5,5000) E(1),F(1,1),G(1,2),E(5)
354      READ(5,5000) (PK(I),I=1,3)
355      READ(5,5000) (PQ(I),I=1,3)
356      READ(5,5000) WK(2),TD(1)
357      5000   FORMAT(8F10.0)
358 C
359      E(1)=-ABS(E(1))
360      F(1,1)=-ABS(F(1,1))
361      G(1,2)=-ABS(G(1,2))
362      E(5)=-ABS(E(5))
363      E(2)=-(-0.508+1.68*CB)*F(1,1)
364 C
365 C      DERIVATIVES
366      ASP=2.*DRF/SL
367      CS1=CB*B/SL
368      CS2=(1.-CB)*DRF/B
369      CS3=CB*DRF/B
370      F(1,3)=A10*ASP+A11+(A12+A13*CS1)*CS1
371      F(1,4)=A20*ASP
372      F(1,5)=A30+A31*CS2
373      F(1,6)=A40+A41*CS2
374      F(1,7)=A50+A51*CS2
375      F(1,8)=A60+A61*CS2
376      G(1,3)=B10*ASP
377      G(1,4)=B20*ASP+B21*ASP*ASP
378      G(1,5)=B30+(B31+B32*CS1)*CS1
379      G(1,6)=B40+(B41+B42*CS1)*CS1
380      G(1,7)=B50+B51*CS3
381      G(1,8)=B60+(B61+(B62+(B63+B64*CS1)*CS1)*CS1)*CS1
382      DO 200 I=3,8
383      F(1,I)=F(1,I)*1000.
384      G(1,I)=G(1,I)*1000.
385      200    CONTINUE
386 C      TRIM CORRECTION
387      XLV=G(1,3)/F(1,3)
388      TT=TRIM/DRF
389      F(1,3)=F(1,3)*(1.+0.67*TT)
390      F(1,4)=F(1,4)*(1.+0.80*TT)
391      G(1,3)=G(1,3)*(1.-0.27*TT/XLV)
392      G(1,4)=G(1,4)*(1.+0.30*TT)
393 C
394      RKP=0.
395      EPS=0.58+4.*CB*B/SL/PDH
396      AH(1)=1.38+(-4.26+4.07*CB)*CB

```



```

397      XH(1)=-0.4
398      AH(3)=AH(1)
399      XH(3)=XH(1)
400      SC(1)=-0.9
401      SC(2)=1.2-2.2*CB+1.6*CB*CB
402      SC(3)=0.
403      SC(4)=-10.
404      SC(5)=1.0E-4
405      DA(2)=-2.
406      WK(1)=-0.5
407      WK(3)=0.8268
408      WK(4)=8.525
409      WK(5)=12.59
410      WK(6)=-0.6338
411      WK(7)=4.732
412      WK(8)=-6.429
413      XTR=0.77
414      RETURN
415      END
416
417
418      SUBROUTINE WINDF (URF,VRF,P,SL,DEG,WX,WY,WN)
419 C
420      COMMON /CM15/SAX,SAY,RHOA,CRA(20),CNA(20),ALPHA(20),
421 *          UAA,PAA,UFA,PFA
422 C
423      IF (UAA.EQ.0.) GO TO 90
424 C
425 C      RELATIVE WIND SPEED AND DIRECTION
426      P1= PFA/DEG-P
427      URE=URF+UFA*COS(P1)
428      VRE=VRF+UFA*SIN(P1)
429      P2=PAA/DEG-P
430      URA=UAA*COS(P2)-URE
431      VRA=UAA*SIN(P2)-VRE
432      UA=SQRT(URA*URA+VRA*VRA)
433      IF (URA.EQ.0.) GO TO 40
434      IF (VRA) 10,20,30
435      10  PA=180.+ATAN2(VRA,URA)*DEG
436      GO TO 50
437      20  IF (URA) 21,21,22
438      21  PA=0.
439      GO TO 50
440      22  PA=180.
441      GO TO 50
442      30  PA=-180.+ATAN2(VRA,URA)*DEG
443      GO TO 50
444      40  IF (VRA) 41,42,43
445      41  PA=90.
446      GO TO 50
447      42  PA=0.
448      GO TO 50
449      43  PA=-90.
450 C
451      50  APA=ABS(PA)
452      J=JNT(APA/10.)+1
453      IF (J.EQ.19) J=18
454      DD=(APA-FLOAT(J-1)*10.)/10.
455      CR=CRA(J)+(CRA(J+1)-CRA(J))*DD
456      CN=CNA(J)+(CNA(J+1)-CNA(J))*DD
457      AL=ALPHA(J)+(ALPHA(J+1)-ALPHA(J))*DD
458      IF(PA.GT.0.) GO TO 60
459      CN=-CN
460      AL=-AL
461 C
462      60  SS=SAX*COS(PA/DEG)**2+SAY*SIN(PA/DEG)**2

```

```

463      DW=RHOA*UA*UA/2.
464      RW=DW*SS*CR
465      WX=-RW*COS(AL/DEG)
466      WY=-RW*SIN(AL/DEG)
467      WN=-DW*SAY*SL*CN
468      RETURN
469 C
470      90  CONTINUE
471      WX=0.
472      WY=0.
473      WN=0.
474      RETURN
475      END
476
477
478      SUBROUTINE STEER(DC,D1,D2,Q1)
479 C
480 C      SIMULATION OF STEERING GEAR
481 C
482      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
483      DATA CR2P/1.70711/,CR2N/0.292893/
484 C
485      FDD(D)=(DC-D)/DTE
486 C
487      DB=DC-D1
488      IF (DB.EQ.0.) GO TO 10
489      IF (DTE.EQ.0.) GO TO 20
490 C
491      DDT=FDD(D1)
492      ADDT=ABS(DDT)
493      IF (ADDT.GT.DDMX) GO TO 20
494 C      /
495      C4=H*DDT
496      G4=0.5*(C4-2.*Q1)
497      D2=D1+G4
498      Q4=Q1+3.*G4-0.5*C4
499 C      /
500      C4=H*FDD(D2)
501      G4=CR2N*(C4-Q4)
502      D2=D2+G4
503      Q4=Q4+3.*G4-CR2N*C4
504 C      /
505      C4=H*FDD(D2)
506      G4=CR2P*(C4-Q4)
507      D2=D2+G4
508      Q4=Q4+3.*G4-CR2P*C4
509 C      /
510      C4=H*FDD(D2)
511      G4=(C4-2.*Q4)/6.
512      D2=D2+G4
513      IF (ABS(DB).LT.ABS(D2-D1)) GO TO 25
514      Q4=Q4+3.*G4-0.5*C4
515      Q1=Q4
516      RETURN
517 C
518      25  D3=DB
519      GO TO 15
520      20  DD=SIGN(DDMX,DB)
521      D3=DD*H
522      IF (ABS(DB).LT.ABS(D3)) D3=DB
523      GO TO 15
524      10  D3=0.
525      15  D2=D1+D3
526      Q1=0.
527 C
528      RETURN

```

```

529      END
530
531
532      SUBROUTINE RPCNT(T,U,V,R,P,DC,RV,IEND)
533 C
534 C      STEERING AND MAIN ENGINE CONTROL
535 C
536      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
537      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
538      COMMON /CM05/PK(05),PQ(5),TD(10),WK(10),EPS,RKP,CRP
539      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
540      COMMON /CM08/DUP,DLW,CUP,CLW,DTN
541      COMMON /CM09/RV0,D0,US0,BET0,R0,P0,X0,Y0,T0,TQ0,DHP0
542      COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
543 C
544      DIMENSION AA(5)
545 C
546 C      STEERING CONTROL
547      GO TO (1,1,3,4,1,4,1),MODE
548 C
549      1      C=P
550      IF (MODE.EQ.2.OR.MODE.EQ.5.) C=R
551      IF (ISP.LT.0) GO TO 12
552      10      IF (C.GE.CUP) GO TO 11
553      DC=DUP
554      GO TO 100
555      11      TR(NST)=T
556      DST(NST)=DUP
557      NST=NST+1
558      IF(MODE.EQ.7.AND.NST.GE.3) GO TO 99
559      IF(NST.GT.30) GO TO 99
560      ISP=-1
561 C
562      12      IF(C.LE.CLW) GO TO 13
563      DC=DLW
564      GO TO 100
565      13      TR(NST)=T
566      DST(NST)=DLW
567      NST=NST+1
568      IF (MODE.EQ.7.AND.NST.GE.3) GO TO 99
569      IF (NST.GT.30) GO TO 99
570      ISP=1
571      GO TO 10
572 C
573      3      IF (T.GE.TR(NST)) GO TO 31
574      30      DC=DST(NST)
575      GO TO 100
576      31      NST=NST+1
577      IF (NST.GT.IST) GO TO 99
578      GO TO 30
579 C
580      4      DC=DTN
581 C
582 C      ENGINE CONTROL
583      100      IF (T.EQ.T0) GO TO 110
584      GO TO (110,200,200,120,130),IPC
585 C      /
586      110      RV=RV0
587      RETURN
588 C      /
589      120      IF (NST.GE.NTRP(NPR)) GO TO 122
590      121      RV=REV(NPR)
591      RETURN
592      122      NPR=NPR+1
593      IF (NPR.GT.IPR) GO TO 98
594      GO TO 121

```



```

595 C      /
596      130  IF (T.GE.TP(NPR)) GO TO 132
597      131  RV=REV(NPR)
598          RETURN
599      132  NPR=NPR+1
600          IF (NPR.GT.IPR) GO TO 98
601          GO TO 131
602 C
603      99   NST=NST-1
604      98   IEND=1
605          RETURN
606 C
607      200  CONTINUE
608          US=SQRT(U*U+V*V)
609          FJS=US/RV/PD
610          IF (FJS.LT.0.3) FJS=0.3
611          UP=WAKE(V,R,US,FJS,WK,SL)*U
612          IF (IPC.EQ.3) GO TO 221
613 C
614 C      TORQUE CONSTANT
615          A=UP/PD
616          AA(1)=PQ(1)
617          AA(2)=PQ(2)*A
618          AA(3)=PQ(3)*A*A-TQ0/RD4/PD
619          B=SQRT(AA(2)*AA(2)-4.*AA(1)*AA(3))
620          RV=(-AA(2)+B)/AA(1)/2.
621          RETURN
622 C
623 C      POWER (DHP) CONSTANT
624      221  A=UP**3*RD4*0.0837758/PD/PD
625          QJ3=DHP0/A
626          PQ(4)=-QJ3
627          DO 220 I=1,5
628              AA(I)=PQ(I)
629      220  CONTINUE
630          CALL QUBIC(AA,XJ)
631          AJ=1./XJ
632          RV=UP/AJ/PD
633 C
634          RETURN
635          END
636
637
638          SUBROUTINE SPRL (NCYCL,IEND,NSPR,JSPR)
639 C
640 C      ANALYSIS OF SPIRAL TESTS
641 C
642          COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
643          COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
644          COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
645          COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
646          COMMON /CM08/DTF,DLW,DTW,DTM
647          COMMON /CM09/RTD,RTS,BETA,RC,PC,KC,TC,TD,TQ,DHPC
648          COMMON /CM10/DAF,RAF,RFL,ISFR,DSFR(30),CFSI,USI
649          COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(1003),D(3003),
650      *          XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
651 C
652          NN=JNT(SL/USI/DT)
653          N1=NDATA-2*NN+2
654          N2=NDATA-NN+1
655          S1=0.
656          S2=0.
657          DO 100 I=N1,N2
658              S1=S1+R(I)
659      100  CONTINUE
660          DO 110 I=N2,NDATA

```

```

661      S2=S2+R(I)
662 110    CONTINUE
663      IF (S2.EQ.0.) GO TO 10
664      A=ABS ((S2-S1)/S2)
665      IF (A.LT.0.01) GO TO 50
666      GO TO 20
667 10     IF (ABS(RD(NDATA)/R(NDATA)).LT.0.001) GO TO 50
668 C
669 20     IF (NCYCL.GT.5) GO TO 30
670      JSR=0
671      GO TO 70
672 C
673 30     WRITE (6,6900) NSPR,DTN,US(NDATA),R(NDATA),RD(NDATA),BT(NDATA)
674 C      WRITE (9,6900) NSPR,DTN,US(NDATA),R(NDATA),RD(NDATA),BT(NDATA)
675      U1=US(NDATA)/USI
676      R1=R(NDATA)*SL/US(NDATA)/DEG
677      WRITE(6,6910) U1,R1
678      WRITE(9,6910) U1,R1
679      GO TO 60
680 C
681 50     CONTINUE
682      SUS=0.
683      SBT=0.
684      SRD=0.
685      DO 200 I=N2,NDATA
686      SUS=SUS+US(I)
687      SBT=SBT+BT(I)
688      SRD=SRD+RD(I)
689 200    CONTINUE
690      FNN=FLOAT(NN)
691      SUS=SUS/FNN
692      S2 =S2 /FNN
693      SBT=SBT/FNN
694      SRD=SRD/FNN
695      U1=SUS/USI
696      R1=S2*SL/SUS/DEG
697      WRITE (6,6000) NSPR,DTN,USI,SUS,U1,S2,R1,SRD,SBT
698 C      WRITE (9,6000) NSPR,DTN,USI,SUS,U1,S2,R1,SRD,SBT
699 C
700 60     NSPR=NSPR+1
701      IF (NSPR.GT.ISPR) GO TO 90
702      DTN=DSR(NSPR)
703      JSR=1
704 C
705 70     DO =D(NDATA)
706      US0=US(NDATA)
707      BET0=BT(NDATA)
708      P0=P(NDATA)
709      X0=XL(NDATA)*SL
710      Y0=YL(NDATA)*SL
711      RETURN
712 C
713 90     IEND=1
714      RETURN
715 C
716 6000   FORMAT(/10X,'* ',I2,'SPIRAL TEST RESULTS */8X,'RUDDER ANGLE ',
717 1       12X,'DELTA',8X,' -- ',F7.1/8X,'INITIAL & FINAL SPEED U0, UT,',
718 2       '(UT/U0)--',2F8.3,3X,'(',F6.3,')'/8X,
719 3       'YAW RATE ', 16X, 'PD (L/R)--',F8.3,2X,'(',F7.3,')'/8X,
720 4       'YAW ACCEL.',14X,'PDD', 10X, '--',F9.4/8X,
721 5       'DRIFT ANGLE ', 13X, ' BETA ',9X, '--', F6.1)
722 6900   FORMAT(/10X,'<',I2,'SPIRAL MOTION DOES NOT CONVERGE ! >'/8X,
723 *      '(DELTA, US, PD, PDD, BETA) ',F6.1,2F9.3,F10.4,F7.1)
724 6910   FORMAT(13X,'(US/U0, L/R) ',15X,2F9.3)
725      END
726

```

```

727
728 SUBROUTINE RSPRL (NCYCL,IEND,TSS)
729 C
730 C ANALYSIS OF REVERSE SPIRAL TESTS
731 C
732 COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
733 COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
734 COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
735 COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
736 COMMON /CM08/DLW,DUP,CLW,CUP,DTN
737 COMMON /CM09/RV0,D0,US0,BET0,R0,P0,X0,Y0,T0,TQ0,DHP0
738 COMMON /CM10/DAP,RAP,RPL,ISPR,DSPR(30),CPSI,USI
739 COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
740 COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(3003),D(3003),
741 * XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
742
743 C
744 WRITE(6,6200) NCYCL,NST,DUP,DLW
745 WRITE(9,6200) NCYCL,NST,DUP,DLW
746 6200 FORMAT(10X,'< RSPRL > NCYCL=',I2,5X,'NST=',I2,5X,
747 * 'DLW,DUP=',2F8.3)
748 TSS=TSS+FLOAT(NDATA-1)*DT
749 IF(NST.LT.4) GO TO 10
750 C
751 NS1=NST-1
752 NS2=NST-2
753 DDT=(2.*TR(NS1)-TR(NS2)-TR(NST))/(TR(NST)-TR(NS2))
754 IF (ABS(DDT).LT.0.1) GO TO 20
755 C
756 DDX=DDT*DAP*FLOAT(ISP)
757 GO TO 15
758 C
759 10 NDATA=NDATA+50
760 IF(NDATA.GT.300) NDATA=300
761 IF(NST.EQ.0) GO TO 11
762 SD=0.
763 DO 100 J=1,NDATA
764 SD=SD+D(J)
765 100 CONTINUE
766 SD=SD/FLOAT(NDATA)
767 DM=(DUP+DLW)/2.
768 DDX=SD-DM
769 GO TO 15
770 11 DDX=2.
771 IF(D(NDATA).EQ.DLW) DDX=-2.
772 15 CONTINUE
773 C
774 DUP=DUP+DDX
775 DLW=DLW+DDX
776 US0=US(NDATA)
777 BET0=BT(NDATA)
778 R0=R(NDATA)
779 P0=P(NDATA)
780 D0=D(NDATA)
781 IF(NCYCL.GT.10) GO TO 90
782 RETURN
783 C
784 20 NSS=NST-4
785 TS=T0
786 IF (NSS.GT.0) TS=TR(NSS)
787 TE=TR(NST)
788 J1=JNT((TS-T0)/DT)
789 J2=JNT((TE-T0)/DT)
790 IF (J1.EQ.0) J1=1
791 IF (J1.EQ.0) J2=J2+1
792 SU=0.

```



```

793      SB=0.
794      SR=0.
795      SD=0.
796      DO 200 J=J1,J2
797      SU=SU+US(J)
798      SB=SB+BT(J)
799      SR=SR+R(J)
800      SD=SD+D(J)
801 200    CONTINUE
802      FJ=FLOAT(J2-J1+1)
803      SU=SU/FJ
804      SB=SB/FJ
805      SR=SR/FJ
806      SD=SD/FJ
807      U1=SU/USI
808      R1=SR/DEG*SL/SU
809      RUP=CUP*DEG
810      RLW=CLW*DEG
811      TEE=TSS+FLOAT(NDATA-1)*DT
812 C
813      IF(IEND.EQ.1) GO TO 91
814      WRITE(6,6000) NCYCL,NDATA,NST,TSS,TEE,RPL,RUP,RLW,DUP,DLW
815      WRITE(9,6000) NCYCL,NDATA,NST,TSS,TEE,RPL,RUP,RLW,DUP,DLW
816      WRITE(6,6100) SR,R1,SD,SU,U1,SB
817      WRITE(9,6100) SR,R1,SD,SU,U1,SB
818 6000    FORMAT(/10X, '* REVERSE SPIRAL TEST RESULT*/5X,
819 1        '1 EXECUTION MESSAGE '/8X, 'NCYCL,NDATA,NST, (TS,TE) ',9X, '---',
820 2        3I5,3X, '(',2F8.1,') '/8X, 'RPL, (RUP,RLW), (DUP,DLW) ',9X, '---',
821 3        F8.3, '(',2F8.3,') ', '(',2F7.1,') ')
822 6100    FORMAT(/5X, '2 ANALYSIS RESULTS (MEAN VALUES) '/8X,
823 1        'YAW RATE (R*L/US) ---',F8.3, '(',F8.3,') '/8X,
824 2        'RUDDER ANGLE ---',F8.3/8X,
825 3        'SHIP SPEED (US/UO) ---',F8.3, '(',F8.3,') '/8X,
826 4        'DRIFT ANGLE ---',F8.3)
827 C
828      IEND=1
829      RETURN
830 C
831 90      RUP=CUP*DEG
832      RLW=CLW*DEG
833      WRITE(6,6900) NCYCL,NDATA,NST,DUP,DLW,RUP,RLW,RPL,RAP
834 6900    FORMAT (/5X, '* RUDDER CONTROL DATA IS INCORRECT ! */5X,
835 1        '(NCYCL,NDATA,NST)',3I6/5X, ' (DUP,DLW), (RUP,RLW), (RPL,RAP) ',3X,
836 2        '(',2F8.3,') (',2F8.3,') (',2F8.3,') ')
837      IEND=1
838      IF (NST.LT.4) GO TO 92
839      GO TO 20
840 91      WRITE(6,6100) SR,R1,SD,SU,U1,SB
841      WRITE(9,6100) SR,R1,SD,SU,U1,SB
842      WRITE(6,6910) (I,TR(I),I=NS2,NST),DDT
843      WRITE(9,6910) (I,TR(I),I=NS2,NST),DDT
844 6910    FORMAT (8X, 'STEERING TIME ----', 3(I5,F7.1,3X), '(DDT=',F7.3,') ')
845 C
846      RETURN
847 92      IOUT=1
848      ISAMP=10
849      RETURN
850      END
851
852
853      SUBROUTINE CCHNG
854 C
855 C      ANALYSIS OF COURSE CHANGE TEST
856 C
857      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
858      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT

```

```

859      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
860      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
861      COMMON /CM08/DUP,DLW,CUP,CLW,DTN
862      COMMON /CM10/DAP,RAP,RPL,ISPR,DSPR(30),CPSI,USI
863      COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
864      COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(3003),D(3003),
865      *      XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
866      COMMON /CM20/K1,K2
867 C
868      K1=JNT(TP(1)/DT)+1
869      N=NDATA-1
870      DO 100 I=K1,N
871      I1=I+1
872      RR=R(I)*R(I1)
873      IF (RR.LE.0.) GO TO 10
874      100  CONTINUE
875      GO TO 90
876      10  K2=I1
877 C
878      T1=TR(1)
879      T2=FLOAT(K2-1)*DT
880      TT=(T2-T1)/T1
881      P2=P(K2)/DEG
882      XCL=XL(K2)-YL(K2)*COS(P2)/SIN(P2)
883      XC=XCL*SL
884      X2=XL(K2)*SL
885      Y2=YL(K2)*SL
886      D1=DST(1)
887      D2=DST(2)
888 C
889      WRITE (6,6000) D1,D2,P(K1),T1,P(K2),T2,TT,X2,XL(K2),Y2,YL(K2),
890      *      XC,XCL
891 C      WRITE (9,6000) D1,D2,P(K1),T1,P(K2),T2,TT,X2,XL(K2),Y2,YL(K2),
892 C      *      XC,XCL
893      NDATA=K2
894      GO TO 99
895 C
896      90  WRITE (6,6900)
897      99  CONTINUE
898      RETURN
899 C
900      6000  FORMAT (//10X, '* COURSE CHANGE TEST RESULTS */10X,
901      1  'EXC. AND COUNTER RUDDER ANGLE ---',F7.1,F10.1/10X,
902      2  'RUD. EXC. HEADING PS1 (T1) ---',F7.1,4X,'(',F5.1,'SEC)'/,
903      3  10X,'FINAL',5X,'HEADING PS2 (T2)---',F7.1,4X,'(',F5.1,
904      4  ' SEC)'/10X,
905      5  ' RUD.EXC.TIME RATIO (T2-T1)/T1 ---',F9.3/10X,
906      6  'FINAL ADVANCE X2(X2/L) ---',F8.2,3X,'(',F7.3,')'/10X,
907      7  'FINAL TRANSFER Y2(Y2/L) ---',F8.2,3X,'(',F7.3,')'/10X,
908      8  'COURSE CHANGE DIST. XC(XC/L) ---',F8.2,3X,'(',F7.3,')')
909      6900  FORMAT (//10X, '<COURSE CHANGE TEST IS NOT COMPLETED ! >'/15X,
910      *      'SIMULATION TIME SHOULD BE LONGER.')
911      END
912
913
914      SUBROUTINE DSMLP
915 C
916 C      L.P. OUTPUT OF TIME HISTORY DATA
917 C
918      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
919      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
920      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
921      COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(3003),D(3003),
922      *      XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
923 C
924      INTEGER ENGOPEN, ENGGETMATRIX, MXCREATEFULL, MXGETPR

```



```

925      INTEGER EP
926
927      INTEGER TI,PPI,DDI,RRI,RDI,USI,BBI,XLL,YLL
928      DOUBLE PRECISION TT(3003),PP(3003),DD(3003),RR(3003),RRD(3003),
929      *      UUS(3003),BBT(3003),XXL(3003),YYL(3003)
930
931 C-----
932      INTEGER TEMP
933 C
934      WRITE(6,6000)
935      WRITE(9,6000)
936 6000  FORMAT(/,9X,'N',8X,'T',9X,'D',9X,'P',9X,'R',9X,'RD',8X,'US',7X,
937      *      'BETA',6X,'X/L',7X,'Y/L',7X,'FN',11X,'THRUST')
938 C
939      DF=RL2*US(1)*US(1)
940      J=0
941      DO 100 I=1,NDATA,ISAMP
942      T=(I-1)*DT
943      FNI=FN(I)/DF
944      THI=TH(I)/DF
945      WRITE(6,6100) I,T,D(I),P(I),R(I),RD(I),US(I),BT(I),XL(I),YL(I),
946      *      FNI,THI
947      WRITE(9,6100) I,T,D(I),P(I),R(I),RD(I),US(I),BT(I),XL(I),YL(I),
948      *      FNI,THI
949
950 6100  FORMAT(5X,I5,3F10.1,F10.3,F11.4,F10.3,F9.1,2F10.3,2E14.4)
951      J=J+1
952      IF(MOD(J,10).EQ.0) WRITE(6,6200)
953 6200  FORMAT(1X)
954 100   CONTINUE
955 C
956      EP = ENGOPEN('MATLAB ')
957 C
958      IF (EP .EQ. 0) THEN
959      WRITE(6,*) 'CAN'T START MATLAB ENGINE'
960      STOP
961      ENDIF
962 C
963      DO 30 I = 1,NDATA
964      T=(I-1)*DT
965      TT(I)=T
966      PP(I)=P(I)
967      DD(I)=D(I)
968      RR(I)=R(I)
969      RRD(I)=RD(I)
970      UUS(I)=US(I)
971      BBT(I)=BT(I)
972      XXL(I)=XL(I)
973      YYL(I)=YL(I)
974 30    CONTINUE
975      TI = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
976      PPI = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
977      DDI = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
978      RRI = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
979      RDI = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
980      USI = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
981      BBI = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
982      XLL = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
983      YLL = MXCREATEDOUBLEMATRIX(NDATA, 1, 0)
984
985      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(TT, MXGETPR(TI), NDATA)
986      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(PP, MXGETPR(PPI), NDATA)
987      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(DD, MXGETPR(DDI), NDATA)
988      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(RR, MXGETPR(RRI), NDATA)
989      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(RRD, MXGETPR(RDI), NDATA)
990      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(UUS, MXGETPR(USI), NDATA)

```



```

991      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(BBT, MXGETPR(BBI), NDATA)
992      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(XXL, MXGETPR(XLL), NDATA)
993      CALL MXCOPYREAL8TOPTR(YYL, MXGETPR(YLL), NDATA)
994 C
995 C
996 C      PLACE THE VARIABLES INTO THE MATLAB WORKSPACE
997 C
998      STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'T', TI )
999      STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'P', PPI)
1000     STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'D', DDI)
1001     STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'R', RRI)
1002     STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'RD', RDI)
1003     STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'US', USI)
1004     STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'BT', BBI)
1005     STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'XL', XLL)
1006     STATUS = ENGPOTVARIABLE(EP, 'YL', YLL)
1007 C
1008     IF (STATUS .NE. 0) THEN
1009     WRITE(6,*) 'ENGPOTVARIABLE FAILED'
1010     STOP
1011     ENDIF
1012
1013 C      PLOT THE RESULT
1014 C      MODE 1
1015     IF (MODE.GE.4.)GOTO 40
1016     IF (ENGEVALSTRING
1017 *      (EP, 'SUBPLOT(2,1,1);PLOT(T,D,T,P,T,R);
1018 *      TITLE('TIME HISTORY OF ZIG ZAG MANEUVER');
1019 *      XLABEL('TIME (SECOND)');YLABEL('(D,P,R)');
1020 *      LEGEND('D','P','R');SUBPLOT(2,1,2);
1021 *      PLOT(T,D,T,RD,T,US,T,BT,T,YL);
1022 *      XLABEL('TIME (SECOND)');YLABEL('(D,RD,US,BT,YL)');
1023 *      LEGEND('D','RD','US','BT','YL');).NE.0) THEN
1024     WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1025     STOP
1026     ENDIF
1027     GOTO 90
1028 C
1029 C      MODE 4
1030 40    IF (MODE.GE.5.)GOTO 50
1031 C      IF (ENGEVALSTRING(EP,
1032 C *      'SHIP=LINE(0.1,0.3,0.1,-0.5,0,-0.5,-0.1,-0.5,-0.1,0.3,0,0.5,
1033 C *      0,-0.6);').NE.0) THEN
1034 C      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1035 C      STOP
1036 C      ENDIF
1037     IF (ENGEVALSTRING
1038 *      (EP, 'FIGURE(1);PLOT(XL,YL);AXIS EQUAL;
1039 *      TITLE('TRAJECTORY OF TURNING CIRCLE TEST');
1040 *      XLABEL('X POSITION (M)');YLABEL('Y POSITION (M)');
1041 *      LEGEND('PATH OF SHIP');
1042 *      FIGURE(2);PLOT(T,D,T,US,T,R,T,RD,T,BT,T,XL);
1043 *      XLABEL('TIME (SECOND)');YLABEL('(D,US,R,RD,BT,XL)');
1044 *      LEGEND('D','US','R','RD','BT','XL');).NE.0) THEN
1045     WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1046     STOP
1047     ENDIF
1048     GOTO 90
1049
1050 C      MODE 5
1051 50    IF (MODE.GE.6.)GOTO 60
1052     IF (ENGEVALSTRING
1053 *      (EP, 'PLOT(D,R);').NE.0) THEN
1054     WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1055     STOP
1056     ENDIF

```

```

1057      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'TITLE('' REVERSE SPIRAL
1058      *  MANEUVER'')') .NE. 0) THEN
1059      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1060      STOP
1061      ENDIF
1062      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'XLABEL(''RUDDER
1063      *  ANGLE (DEGREE)'')') .NE.0) THEN
1064      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1065      STOP
1066      ENDIF
1067      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'YLABEL(''RATE OF
1068      *  TURN (DEG/SECOND)'')') .NE.0) THEN
1069      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1070      STOP
1071      ENDIF
1072      GOTO 90
1073 C      MODE 6
1074      60  IF (MODE.EQ.7.) GOTO 70
1075      IF (ENGEVALSTRING
1076      *  (EP, 'PLOT(D,R),SET(GCA,
1077      *  'XDIR','REVERSE');') .NE.0) THEN
1078      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1079      STOP
1080      ENDIF
1081      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'TITLE(''SPIRAL
1082      *  MANEUVER'')') .NE. 0) THEN
1083      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1084      STOP
1085      ENDIF
1086      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'XLABEL(''RUDDER
1087      *  ANGLE (DEGREE)'')') .NE.0) THEN
1088      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1089      STOP
1090      ENDIF
1091      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'YLABEL(''RATE OF
1092      *  TURN (DEG/SECOND)'')') .NE.0) THEN
1093      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1094      STOP
1095      ENDIF
1096      GOTO 90
1097 C      MODE 7
1098      70  IF (ENGEVALSTRING
1099      *  (EP, 'PLOT(T,D,T,P,T,R,T,RD,T,US,T,BT,T,YL);') .NE.0) THEN
1100      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1101      STOP
1102      ENDIF
1103      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'TITLE(''TIME HISTORY OF COURSE CHANGING
1104      *  MANEUVER'');') .NE. 0) THEN
1105      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1106      STOP
1107      ENDIF
1108      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'XLABEL(''TIME (SECOND)'')') .NE.0) THEN
1109      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1110      STOP
1111      ENDIF
1112      IF (ENGEVALSTRING
1113      *  (EP, 'YLABEL(''(D, P, R, RD, US, BT, YL)'')') .NE.0) THEN
1114      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1115      STOP
1116      ENDIF
1117      GOTO 90
1118 C
1119 C      READ FROM CONSOLE TO MAKE SURE THAT WE PAUSE LONG ENOUGH TO BE
1120 C      ABLE TO SEE THE PLOT
1121 C
1122      90  PRINT *, 'TYPE 0 <RETURN> TO EXIT'

```



```

1123      PRINT *, 'TYPE 1 <RETURN> TO CONTINUE'
1124      READ(*,*) TEMP
1125 C
1126      IF (TEMP.EQ.0) THEN
1127      PRINT *, 'EXIT!'
1128      STOP
1129      END IF
1130 C
1131      IF (ENGEVALSTRING(EP, 'CLOSE;') .NE. 0) THEN
1132      WRITE(6,*) 'ENGEVALSTRING FAILED'
1133      STOP
1134      ENDIF
1135 C
1136      STATUS = ENGCLOSE(EP)
1137 C
1138      IF (STATUS .NE. 0) THEN
1139      WRITE(6,*) 'ENGCLOSE FAILED'
1140      STOP
1141      ENDIF
1142
1143 C
1144      RETURN
1145      END
1146
1147
1148      SUBROUTINE DSMTRN
1149 C
1150 C      ANALYSIS OF TURNING TEST
1151 C
1152      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
1153      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
1154      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
1155      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
1156      COMMON /CM09/RV0,D0,US0,BET0,R0,P0,X0,Y0,T0,TQ0,DHP0
1157      COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(3003),D(3003),
1158      *          XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
1159 C
1160      NN=JNT(SL/US0/DT)
1161      NS=NDATA-NN+1
1162      S1=0.
1163      S2=0.
1164      S3=0.
1165      S4=0.
1166      S5=0.
1167      S6=0.
1168      S7=0.
1169      DO 100 I=NS,NDATA
1170      S1=S1+US(I)
1171      S2=S2+BT(I)
1172      S3=S3+R(I)
1173      S4=S4+RD(I)
1174      S5=S5+D(I)
1175      S6=S6+FN(I)
1176      S7=S7+TH(I)
1177      100 CONTINUE
1178      FNN=FLOAT(NN)
1179      UM =S1/FNN
1180      BM =S2/FNN
1181      RM =S3/FNN
1182      RDM=S4/FNN
1183      DM =S5/FNN
1184      U1 =UM/US0
1185      R1 =RM*SL/UM/DEG
1186      FM =S6/FNN
1187      TM =S7/FNN
1188      RY =-FM*COS(DM/DEG)

```



```

189      RN =RY*(XR-XG)
190      RYD=RY/RL2/UM/UM
191      RND=RN/RL3/UM/UM
192      TKT=TM/RD4/RV0/RV0
193 C
194      DO 110 I=1,NDATA
195      J=I+1
196      APS1=ABS(P(I)-P(1))-90.
197      APS2=ABS(P(J)-P(1))-90.
198      APS3=ABS(P(I)-P(1))-180.
199      APS4=ABS(P(J)-P(1))-180.
200      IF (APS1*APS2.GT.0.) GO TO 30
201      KK1=I
202      APS1=ABS(APS1)
203      APS2=ABS(APS2)
204      RT01=APS1/(APS1+APS2)
205      30 IF (APS3*APS4.GT.0.) GO TO 110
206      KK2=I
207      APS3=ABS(APS3)
208      APS4=ABS(APS4)
209      RT02=APS3/(APS3+APS4)
210      GO TO 10
211      110 CONTINUE
212 C
213      10 JJ1=KK1+1
214      JJ2=KK2+1
215      ADVC=XL(KK1)+(XL(JJ1)-XL(KK1))*RT01-XL(1)
216      TRNS=YL(KK1)+(YL(JJ1)-YL(KK1))*RT01-YL(1)
217      TACT=YL(KK2)+(YL(JJ2)-YL(KK2))*RT02-YL(1)
218 C
219      IF(ABS(P(NDATA)).GT.90.) GO TO 20
220      ADVC=0.
221      TRNS=0.
222      20 IF (ABS(P(NDATA)).GT.180.) GO TO 60
223      TACT=0.
224 C
225      60 WRITE(6,6000) DM,US0,UM,U1,RM,R1,RDM,BM
226      WRITE(9,6000) DM,US0,UM,U1,RM,R1,RDM,BM
227      6000 FORMAT(/10X,'* TURNING TEST RESULT */5X,'1 RUDDER ANGLE',12X,
228      1 'DELTA',8X,'--',F7.1/5X,'2 INITIAL & FINAL SPEED U0,UT,',
229      2 '(UT/U0)--',2F8.3,3X,'(',F6.3,')'/5X,
230      3 '3 YAW RATE',16X,'PD (L/R)--',F8.3,2X,'(',F7.3,')'/5X,
231      4 '4 YAW ACCEL.',14X,'PDD',10X,'--',F9.4/5X,
232      5 '5 DRIFT ANGLE ',13X,'BETA',9X,'--',F6.1)
233      WRITE(6,6100) ADVC,TRNS,TACT
234      WRITE(9,6100) ADVC,TRNS,TACT
235      6100 FORMAT(5X,'6 ADVANCE /L ',27X,'--',F8.3/5X,
236      1 '7 TRANSFER/L ',27X,'--',F8.3/5X,
237      2 '8 TACTICAL DIAMETER /L',17X,'--',F8.3)
238      WRITE(6,6200) FM,RY,RYD,RN,RND
239      WRITE(9,6200) FM,RY,RYD,RN,RND
240      6200 FORMAT(5X,'9 RUDDER NORMAL FORCE FN',11X,'--',E13.4/4X,
241      1 '10 TOTAL-LESS-RUDDER FORCE YR (YRD)--',E13.4,' ( ',
242      2 E11.3,')'/4X,'11',8X,'//',8X,'MOMENT NR (NRD)--',E13.4,
243      3 '(',E11.3,')')
244      WRITE(6,6300) TM,TKT
245      WRITE(9,6300) TM,TKT
246      6300 FORMAT(4X,'12 THRUST',18X,'T (KT)--',E13.4,' ( ',F7.3,
247      1 ')')
248 C
249      RETURN
250      END
251
252      SUBROUTINE DSMKT
253
254 C

```

```

1255 C      K-T ANALYSIS
1256 C
1257      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
1258      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
1259      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
1260      COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
1261      COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(3003),D(3003),
1262      *      XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
1263 C
1264      DIMENSION SD(3001)
1265 C
1266      N1=NDATA-1
1267      S=0.
1268      DO 100 J=1,N1
1269      J1=J+1
1270      P(J)=P(J1)
1271      R(J)=R(J1)
1272      D(J)=D(J1)
1273      S=S+US(J)
1274      100 CONTINUE
1275 C
1276      UM=S/FLOAT(N1)
1277      VL=SL/UM
1278      CALL INTEG3(N1,DT,0.,D,SD)
1279 C
1280      K=0
1281      J1=JNT(TR(1)/DT)
1282      N2=N1-1
1283      DO 220 J=J1,N2
1284      A=R(J-1)*R(J)
1285      IF (A) 10,20,220
1286 C
1287      20  A1=R(J-1)-0.5*R(J-1)
1288      A2=R(J )-0.5*R(J-1)
1289      IF (A1*A2) 10,220,220
1290      10  K=K+1
1291      DST(K)=DT*FLOAT(J)
1292      220 CONTINUE
1293 C
1294      30  IF (DST(1).LT.TR(2)) GO TO 40
1295      NS=NST-1
1296      DO 230 J=1,NS
1297      TR(J) = TR(J+1)
1298      230 CONTINUE
1299      NST=NS
1300      GO TO 30
1301      40  IF (K.GT.NST) K=NST
1302 C
1303      CALL KTANL2(N1,K,DT,VL,TR,DST,P,R,SD)
1304 C
1305      RETURN
1306      END
1307
1308
1309      SUBROUTINE KTANL2(N,K,DT,VL,TR,TE,P,Q,SD)
1310 C
1311 C      K-T ANALYSIS
1312 C
1313      DIMENSION P(3001),Q(3001),SD(3001),TR(90),TE(90)
1314      DATA PAI/3.141593/
1315 C
1316      IF (N.LE.0.OR.N.GE.1002) GO TO 91
1317 C      IF (K.LE.1) K=3
1318      IF (K.LE.1.OR.K.GE.31) GO TO 91
1319      IF (DT.LE.0.) GO TO 91
1320      IF (VL.LE.0.) GO TO 91

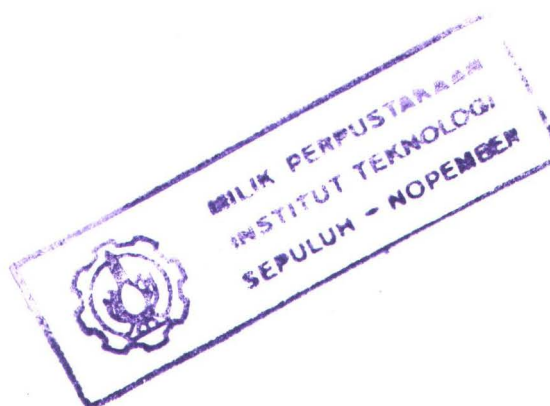
```



```

1321 C
1322 WRITE (6,2000) VL
1323 WRITE (9,2000) VL
1324 2000 FORMAT (/10X, 'K-T ANALYSIS SUBROUTINE' /15X, 'L/V=', F12.4/
1325 * 17X, 'NO.', 11X, 'TR (C.TR)', 8X, 'PR', 8X, 'QR',
1326 * 21X, 'TE (C.TE)', 8X, 'PE', 8X, 'QE')
1327 DO 600 J=1,K
1328 JR=JNT (TR(J)/DT)
1329 JE=JNT (TE(J)/DT)
1330 TJR=DT*FLOAT (JR)
1331 TJE=DT*FLOAT (JE)
1332 WRITE (6,2001) J, TR(J), TJR, P(JR), Q(JR),
1333 * TE(J), TJE, P(JE), Q(JE)
1334 WRITE (9,2001) J, TR(J), TJR, P(JR), Q(JR),
1335 * TE(J), TJE, P(JE), Q(JE)
1336 2001 FORMAT (15X, I5, 2 (F10.2, ' (', F7.2, ') ', F10.2, F10.4, 10X))
1337 600 CONTINUE
1338 WRITE (6,2050)
1339 WRITE (9,2050)
1340 2050 FORMAT (/10X, 'K-T ANALYSIS BY LINEAR EQ. METHODE' /17X,
1341 * 'NO.', 14X, 'K (KD)', 10X, '1/K (1/KD)', 18X, 'DR', 12X, 'RM (RMD)')
1342 K2=K-2
1343 AKM=0.
1344 DRM=0.
1345 RMM=0.
1346 DO 100 J=1,K2
1347 JRO=JNT (TR(J)/DT)
1348 JR1=JNT (TR(J+1)/DT)
1349 RM=0.7*ABS (Q(JR1)-Q(JRO)) *0.5
1350 RMN=RM*VL*PAI/180.
1351 RMM=RMM+RM
1352 C /
1353 JE0=JNT (TE(J)/DT)
1354 JE1=JNT (TE(J+1)/DT)
1355 JE2=JNT (TE(J+2)/DT)
1356 DT1=TE (J+1)-TE (J)
1357 DT2=TE (J+2)-TE (J+1)
1358 DP1=P (JE1)-P (JE0)
1359 DP2=P (JE2)-P (JE1)
1360 DSD1=SD (JE1)-SD (JE0)
1361 DSD2=SD (JE2)-SD (JE1)
1362 AK=(DP1/DT1-DP2/DT2) / (DSD1/DT1-DSD2/DT2)
1363 AKDR=(DP1/DSD1-DP2/DSD2) / (DT1/DSD1-DT2/DSD2)
1364 DR=AKDR/AK
1365 AKN=AK*VL
1366 RK=1./AK
1367 RKN=1./AKN
1368 AKM=AKM+AK
1369 DRM=DRM+DR
1370 C /
1371 WRITE (6,2100) J, AK, AKN, RK, RKN, DR, RM, RMN
1372 WRITE (9,2100) J, AK, AKN, RK, RKN, DR, RM, RMN
1373 2100 FORMAT (15X, I5, 2 (F10.4, ' (', F7.3, ') ', F20.4, F10.4, ' (', F7.3, ') ')
1374 100 CONTINUE
1375 C
1376 FK2=FLOAT (K2)
1377 AKM=AKM/FK2
1378 DRM=DRM/FK2
1379 RMM=RMM/FK2
1380 AKNM=AKM*VL
1381 RMNM=RMM*VL*PAI/180.
1382 RKM=1./AKM
1383 RKNM=1./AKNM
1384 WRITE (6,2150) AKM, AKNM, RKM, RKNM, DRM, RMM, RMNM
1385 WRITE (9,2150) AKM, AKNM, RKM, RKNM, DRM, RMM, RMNM
1386 2150 FORMAT (16X, 'MEAN', 2 (F10.4, ' (', F7.3, ') ', F20.4, F10.4, ' (', F7.3,

```




```

1387      *      ' )' //17X, 'NO.', 14X, 'T (TD)', 10X, '1/T (1/TD)' )
1388 C      /
1389      TM=0.
1390      DO 150 J=1,K
1391      JR=JNT (TR (J) /DT)
1392      JE=JNT (TE (J) /DT)
1393      DTER =TE (J )-TR (J )
1394      DQER =Q (JE)-Q (JR)
1395      DPER =P (JE)-P (JR)
1396      DSDER=SD (JE)-SD (JR)
1397      T=(AKM*(DSDER+DRM*DTER)-DPER)/DQER
1398      TN=T/VL
1399      RT=1./T
1400      RTN=1./TN
1401      TM=TM+T
1402      WRITE (6,2260) J,T,TN,RT,RTN
1403      WRITE (9,2260) J,T,TN,RT,RTN
1404 2260 150  FORMAT (15X,I5,2 (F10.4, ' (',F7.3, ' )' ))
1405      CONTINUE
1406      TM=TM/FLOAT (K)
1407      TNM=TM/VL
1408      RTM=1./TM
1409      RTNM=1./TNM
1410      WRITE (6,2270) TM,TNM,RTM,RTNM
1411      WRITE (6,2280)
1412      WRITE (9,2270) TM,TNM,RTM,RTNM
1413      WRITE (9,2280)
1414 2270 2280  FORMAT (16X, 'MEAN' , 2 (F10.4, ' (',F8.3, ' )' ))
1415      FORMAT (1H0,10X, 'K-T ANALYSIS BY LEAST SQUARE METHODE'/
1416      *      10X, 'NO.', 14X, 'K (KD)', 10X, '1/K (1/KD)', 14X, 'T (TD)', 10X,
1417      *      '1/T (1/TD)', 13X, 'DR', 12X, 'RM (RMD)' )
1418 C
1419 C      K-T ANALYSIS BY LEAST SQUARE METHODE
1420      AKM=0.
1421      TM =0.
1422      DRM=0.
1423      RMM=0.
1424      DO 200 I=1,K2
1425      RM =0.
1426      A11=0.
1427      A12=0.
1428      A13=0.
1429      A14=0.
1430      A21=0.
1431      A22=0.
1432      A23=0.
1433      A24=0.
1434      A31=0.
1435      A32=0.
1436      A33=0.
1437      A34=0.
1438      TS=TE (I)
1439      TF=TE (I+2)
1440      JS=JNT (TS/DT)
1441      JF=JNT (TF/DT)
1442      PS=P (JS)
1443      QS=Q (JS)
1444      SDS=SD (JS)
1445 C      /
1446      DO 210 J=JS,JF
1447      RM=RM+Q (J)*Q (J)
1448      DQ=QS-Q (J)
1449      DP=P (J)-PS
1450      DSD=SD (J)-SDS
1451      DTJ=DT*FLOAT (J)-TS
1452      A11=A11+DQ*DQ

```

```

1453      A12=A12+DQ*DSD
1454      A13=A13+DQ*DTJ
1455      A14=A14+DQ*DP
1456      A21=A21+DSD*DQ
1457      A22=A22+DSD*DSD
1458      A23=A23+DSD*DTJ
1459      A24=A24+DSD*DP
1460      A31=A31+DTJ*DQ
1461      A32=A32+DTJ*DSD
1462      A33=A33+DTJ*DTJ
1463      A34=A34+DTJ*DP
1464      210  CONTINUE
1465  C      /
1466      DETA0=A11*A22*A33-A31*A22*A13
1467      *      +A21*A32*A13-A11*A32*A23
1468      *      +A31*A12*A23-A21*A12*A33
1469      DETA1=A14*A22*A33-A34*A22*A13
1470      *      +A24*A32*A13-A14*A32*A23
1471      *      +A34*A12*A23-A24*A12*A33
1472      DETA2=A11*A24*A33-A31*A24*A13
1473      *      +A21*A34*A13-A11*A34*A23
1474      *      +A31*A14*A23-A21*A14*A33
1475      DETA3=A11*A22*A34-A31*A22*A14
1476      *      +A21*A32*A14-A11*A32*A24
1477      *      +A31*A12*A24-A21*A12*A34
1478  C      /
1479      T=DETA1/DETA0
1480      AK=DETA2/DETA0
1481      DR=DETA3/DETA2
1482  C      /
1483      RM=SQRT(RM/FLOAT(JF-JS+1))
1484      TN=T/VL
1485      AKN=AK*VL
1486      RMN=RM*VL*PAI/180.
1487      RT =1./T
1488      RK =1./AK
1489      RTN=1./TN
1490      RKN=1./AKN
1491      AKM=AKM+AK
1492      TM =TM +T
1493      RMM=RMM+RM
1494      DRM=DRM+DR
1495      WRITE(6,2200) I,AK,AKN,RK,RKN,T,TN,RT,RTN,DR,RM,RMN
1496      WRITE(9,2200) I,AK,AKN,RK,RKN,T,TN,RT,RTN,DR,RM,RMN
1497      2200  FORMAT(8X,I5,4(F10.4,'(','F7.3,')'),F15.4,F10.4,'(','F7.3,')')
1498      200  CONTINUE
1499      AKM=AKM/FK2
1500      TM =TM /FK2
1501      RMM=RMM/FK2
1502      DRM=DRM/FK2
1503      AKNM=AKM*VL
1504      TNM =TM /VL
1505      RMNM=RMM*VL*PAI/180.
1506      RKM =1./AKM
1507      RTM =1./TM
1508      RKNM=1./AKNM
1509      RTNM=1./TNM
1510      WRITE(6,2210) AKM,AKNM,RKM,RKNM,TM,TNM,RTM,RTNM,DRM,RMM,RMNM
1511      WRITE(9,2210) AKM,AKNM,RKM,RKNM,TM,TNM,RTM,RTNM,DRM,RMM,RMNM
1512      2210  FORMAT(9X,'MEAN',4(F10.4,'(','F7.3,')'),F15.4,F10.4,'(','F7.3,')')
1513      *      F7.3,')')
1514      RETURN
1515  C
1516  C      ERROR MESSAGE
1517      91  WRITE(6,9100) N,K,DT,VL
1518      9100  FORMAT(//10X,'*(SUB.KTANL2) INPUT DATA IS INCORRECT !'/

```

```

1519      *      20X, 'N,K,DT,VL =',2I10,5X,2E15.7)
1520      RETURN
1521      END
1522
1523
1524      SUBROUTINE AXMX(N,A,AMX,AMN)
1525 C
1526 C      MAX,MIN VALUES OF COORDINATE
1527 C
1528      DIMENSION A(1)
1529 C
1530      L=1
1531      M=1
1532      AMX=A(1)
1533      AMN=A(1)
1534      DO 100 I=2,N
1535      IF(AMX.LT.A(I)) AMX=A(I)
1536      IF(AMN.GT.A(I)) AMN=A(I)
1537 100 CONTINUE
1538 C
1539      IF(AMX.LT.0.) L=-1
1540      IF(AMN.LT.0.) M=-1
1541      CALL ROUND (AMX,2,L,K)
1542      CALL ROUND (AMN,2,M,K)
1543 C
1544      RETURN
1545      END
1546
1547
1548      SUBROUTINE ROUND(X,L,M,K)
1549 C
1550      IF(L.LE.0.OR.X.EQ.0.) RETURN
1551      KX=IFIX(X)
1552      LL=L
1553      IF(M.EQ.0.OR.L.EQ.1) L=L+1
1554      IF(ABS(X).LT.1.) KX=IFIX(1./X)
1555      K=0
1556 10      KX=KX/10
1557      K=K+1
1558      IF(IABS(KX).GE.1.) GO TO 10
1559      IF(ABS(X).LT.1.) K=1-K
1560      X1=X*10.** (L-K)
1561      KX1=IFIX(X1)
1562      L1=KX1/10
1563      H=(KX1-L1*10)/5
1564      IF(M.EQ.0) GO TO 20
1565      H1= ISIGN (1,M)-H
1566 20      CONTINUE
1567      IF(X*FLOAT(M).LT.0.) H1=-H
1568      IF(M.EQ.0) H1=0
1569      IF(LL.NE.1.OR.M.EQ.0) GO TO 30
1570      H=0
1571      H1=0
1572      IF(X*FLOAT(M).GT.0.) H=ISIGN (1,M)
1573 30      KX1=(L1+H)*10+5*H1
1574      X=FLOAT (KX1)*10.** (K-L)
1575      L=LL
1576      IF(K.LE.0) K=K-1
1577      RETURN
1578      END
1579
1580
1581      SUBROUTINE INTEG3(N,DT,YI,YD,Y)
1582 C
1583      DIMENSION YD(1),Y(1)
1584 C

```



```

1585      A1(Y1,Y2,Y3,Z) =Y1*B1+Y2*B2+Y3*B3+Z
1586      A2(Y0,Y1,Y2,Y3,Y4,Z)=Y0*C0+Y1*C1+Y2*C2+Y3*C3+Y4*C4+Z
1587      DY(X1,X2,X3,X4)=X1*D1+X2*D2+X3*D3+X4*D4
1588  C
1589      B1=-0.125
1590      B2= 0.75
1591      B3= 0.375
1592  C
1593      C0= 0.0234375
1594      C1=-0.15625
1595      C2= 0.703125
1596      C3= 0.46875
1597      C4=-0.0390625
1598  C
1599      D1= 1.*3./128.*DT
1600      D2=-3.*3./128.*DT
1601      D3=51.*3./128.*DT
1602      D4=15.*3./128.*DT
1603  C
1604      YD1=YD(1)
1605      YD2=YD(2)
1606      YD3=YD(3)
1607      YD4=YD(4)
1608      Y1=YI
1609      Y2=YI+DT*(YD1+YD2)/2.
1610      Y3=YI+DT/3.*(YD1+4.*YD2+YD3)
1611      Y4=YI+DT*3./8.*(YD1+3.*YD2+3.*YD3+YD4)
1612      Y(1)=Y1
1613      Y(2)=Y2
1614      Y(3)=Y3
1615      Y(4)=Y4
1616  C
1617      /
1618      DO 100 J=5,N
1619      YDA=YD(J)
1620      DY15=DY(YD2,YD3,YD4,YDA)
1621      YA=A1(Y2,Y3,Y4,DY15)
1622      YB=A2(Y1,Y2,Y3,Y4,YA,DY15)
1623      YD1=YD2
1624      YD2=YD3
1625      YD3=YD4
1626      YD4=YDA
1627      Y0=Y1
1628      Y1=Y2
1629      Y2=Y3
1630      Y3=Y4
1631      Y4=A2(Y0,Y1,Y2,Y3,YB,DY15)
1632      Y(J)=Y4
1633  100 CONTINUE
1634  C
1635      RETURN
1636      END
1637
1638      SUBROUTINE QUBIC(A,X1)
1639  C
1640  C      A(1)*X**3+A(2)*X**2+A(3)*X+A(4)=0
1641  C
1642      DIMENSION A(5)
1643  C
1644      IP=2
1645      EX=0.333333
1646      IF(A(4)) 15,10,15
1647  10      X1=0.
1648      RETURN
1649  15      A2=A(1)*A(1)
1650      Q=(27.*A2*A(4)-9.*A(1)*A(2)*A(3)+2.*A(2)**3)/(54.*A2*A(1))

```

```

1651      IF(Q) 25,20,30
1652      20    Z=0.
1653      GO TO 75
1654      25    Q=-Q
1655      IP=1
1656      30    P=(3.*A(1)*A(3)-A(2)*A(2))/(9.*A2)
1657      AG=P**3+Q*Q
1658      IF (AG) 35,40,45
1659      35    Z=-2.*SQRT(-P)*COS(ATAN(SQRT(-AG)/Q)/3.)
1660      GO TO 65
1661      40    Z=-2.*Q**EX
1662      GO TO 65
1663      45    SAG=SQRT(AG)
1664      IF (P) 50,55,60
1665      50    Z=-(Q+SAG)**EX-(Q-SAG)**EX
1666      GO TO 65
1667      55    Z=-(2.*Q)**EX
1668      GO TO 65
1669      60    Z=(SAG-Q)**EX-(SAG+Q)**EX
1670      65    GO TO (70,75),IP
1671      70    Z=-Z
1672      75    X1=(3.*A(1)*Z-A(2))/(3.*A(1))
1673      RETURN
1674      END
1675
1676
1677      FUNCTION JNT(X)
1678  C
1679      JNT=INT(X)
1680      IF (X.LT.0.) GO TO 10
1681      DX=X-FLOAT(JNT)
1682      IF (DX.GT.0.9999) JNT=JNT+1
1683      RETURN
1684      10    DX=FLOAT(JNT)-X
1685      IF (DX.GT.0.9999) JNT=JNT-1
1686      RETURN
1687      END
1688
1689
1690      FUNCTION WAKE(V,R,US,FJS,W,SL)
1691  C
1692      DIMENSION W(10)
1693  C
1694      V1=V/US
1695      R1=R*SL/US
1696      VP=V1+W(1)*R1
1697      VPA=ABS(VP)
1698      WPO=W(2)+W(3)*FJS
1699      IF (W(8).EQ.1.) GO TO 50
1700      IF (W(8).EQ.2.) GO TO 70
1701      IF (W(8).EQ.3.) GO TO 80
1702  C
1703      IF (VP) 10,10,20
1704      10    F=1.+W(3)*VP+W(4)*VP*VP+W(5)*VP*VP*VP
1705      GO TO 30
1706      20    F=1.+W(6)*VP+W(7)*VP*VP+W(8)*VP*VP*VP
1707      30    IF (F.LT.1.0.AND.ABS(VP).GT.0.5) F=1.0
1708      WAKE=W(2)*F
1709      RETURN
1710  C
1711      50    IF (VP) 51,51,52
1712      51    F=1.+W(4)*(VP+W(5)*VPA*VP)**2
1713      GO TO 53
1714      52    F=1.+W(6)*(VP+W(7)*VPA*VP)**2
1715      53    WAKE=WPO*F
1716      RETURN

```

```

1717 C
1718 70 WAKE=WPO+W(4)*(W(5)*V1+W(6)*R1+(VP+W(7)*VPA*VP)**2)
1719 RETURN
1720 80 IF (VP) 81,82,82
1721 81 Q=VP
1722 IF (Q.LE.-0.5) Q=-0.5
1723 F=(-2.2+3.44*FJS)*ABS(Q)+(4.16-5.5*FJS)*Q*Q
1724 GO TO 85
1725 82 Q=VP
1726 IF(Q.GE.0.5) Q=0.5
1727 IF(Q.LE.-0.5) Q=-0.5
1728 F=(-1.35+3.67*FJS)*ABS(Q)+(2.64-6.39*FJS)*Q*Q
1729 85 WAKE=(WPO+F)*1.39
1730 C WRITE (6,600) WAKE,VP,FJS
1731 600 FORMAT (1H,10X, '*** CHECK (1-W,VP,JS)= ',3E15.7)
1732 RETURN
1733 END
1734
1735
1736 SUBROUTINE AHXH(RJS,XR,AH,XH,CAH,CXH)
1737 C
1738 DIMENSION AH(5),XH(5)
1739 C
1740 AJS=AH(4)
1741 CAH=AH(3)
1742 CXH=XH(3)
1743 IF(RJS.GT.AJS) GO TO 10
1744 CAH=AH(1)+AH(2)*RJS
1745 CXH=XH(1)+XH(2)*RJS
1746 10 CXH=XR+CAH*CXH
1747 CAH=CAH+1.
1748 C
1749 RETURN
1750 END
1751
1752
1753 FUNCTION TDFACT(FJS,TD)
1754 C
1755 DIMENSION TD(10)
1756 C
1757 TDFACT=TD(1)+TD(2)*FJS
1758 RETURN
1759 END
1760
1761
1762 FUNCTION GAMMAR (QJS)
1763 GAMMAR=0.49-0.0488/QJS
1764 C WRITE(6,600) GAMMAR
1765 600 FORMAT(1H,10X, '*** CHECK *** GAMMAR =',E15.7)
1766 RETURN
1767 END
1768
1769
1770 FUNCTION DELTM(US,V,R,UR,FJS,SL,DEG,SC)
1771 C
1772 DIMENSION SC(10)
1773 C
1774 VR=V+SC(1)*R*SL
1775 IF (SC(5).NE.0.0) GO TO 25
1776 C GO TO 25
1777 C
1778 IF(VR) 20,21,21
1779 20 DELTM=SC(2)*VR/UR*DEG
1780 RETURN
1781 C
1782 21 DELTM=SC(3)*VR/UR*DEG

```



```

1783      RETURN
1784 C      /
1785      25  QG=GAMMAR(FJS)
1786 C      WRITE(6,600) QG,FJS
1787      600  FORMAT(1H,10X,'*** CHECK *** (GAMMAR,JS) = ',2E15.7)
1788      V1=-SC(3)/DEG*US
1789      V2=-(SC(4)+SC(5)*FJS)/DEG*US
1790      IF(V2.LT.V1) V2=V1
1791      IF(VR.LT.V1) GO TO 26
1792      IF(VR.GT.V2) GO TO 27
1793 C
1794      DELTM=0.0
1795      RETURN
1796 C
1797      26  DELTM=QG*(VR-V1)/UR*DEG
1798      RETURN
1799 C
1800      27  V3=VR-V2
1801      DELTM=QG*V3/UR*DEG
1802      RETURN
1803 C
1804      END
1805
1806
1807
1808      FUNCTION URFLW(UP,EPS,RKP,RKT,RJ,ADV,FJS,PCH,PD,PDH)
1809 C
1810      C=2.54648
1811      IF(RKP.EQ.0.) GO TO 10
1812      URFLW=UP*SQRT(1.+RKP*C*RKT/RJ/RJ)*EPS
1813      GO TO 20
1814 C
1815      10  RK=0.6/EPS
1816      B1=SQRT(1.+C*RKT/RJ/RJ)
1817      B2=(1.+RK*(B1-1.))**2
1818      URFLW=EPS*UP*SQRT(PDH*B2+1.-PDH)
1819 C
1820      20  CONTINUE
1821      IF(FJS.GT.100.) URFLW=UP*EPS
1822      IF(UP.EQ.0.) URFLW=ADV*PCH/PD
1823 C
1824      RETURN
1825      END
1826
1827
1828      SUBROUTINE RKG01
1829 C
1830      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
1831      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
1832      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
1833      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
1834      COMMON /CM09/RV0,D0,US0,BET0,RO,PO,X0,Y0,T0,TQ0,DHP0
1835      COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
1836      COMMON /CM14/US(3003),BT(3003),R(3003),RD(3003),P(3003),D(3003),
1837      *      XL(3003),YL(3003),FN(3003),TH(3003)
1838      COMMON /CM15/SAX,SAY,RHOA,CRA(20),CNA(20),ALPHA(20),
1839      *      UAA,PAA,UFA,PFA
1840 C
1841      DIMENSION W(4),X(4),Y(6),Z(4)
1842      DATA CR2P/1.70711/,CR2N/0.292893/,C6/0.166667/
1843 C
1844      L=1
1845      N=1
1846      LL=N*KDT+1
1847      IEND=0
1848      NST=1

```

```

1849      NPR=1
1850      IF(MODE.NE.3) GO TO 10
1851  11    IF(TR(NST).GT.T0) GO TO 10
1852      NST=NST+1
1853      GO TO 11
1854  10    IF(IPC.NE.5) GO TO 20
1855  12    IF(TP(NPR).GT.T0) GO TO 20
1856      NPR=NPR+1
1857      GO TO 12
1858  C
1859  C      INITIAL CONDITION
1860  20    T=T0
1861      PR=(PFA-P0)/DEG
1862      UF=UFA*COS(PR)
1863      VF=UFA*SIN(PR)
1864      Y(1)=US0*COS(BET0/DEG)-UF
1865      Y(2)=-US0*SIN(BET0/DEG)-VF
1866      Y(3)=R0/DEG
1867      Y(4)=P0/DEG
1868      D1=D0
1869      Q1=0.
1870      CALL RPCNT(T,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),DC,RV,IEND)
1871      CALL STEER(DC,D1,D2,Q1)
1872      RD(1)=HYDF(3,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),Y(5),Y(6),D1,RV)*DEG
1873      US(1)=SQRT(Y(1)*Y(1)+Y(2)*Y(2))
1874      BT(1)=-ATAN2(Y(2),Y(1))*DEG
1875      R(1)=R0
1876      P(1)=P0
1877      D(1)=D0
1878      XL(1)=X0/SL
1879      YL(1)=Y0/SL
1880      TH(1)=Y(5)
1881      FN(1)=Y(6)
1882  C
1883      DO 100 I=1,4
1884      Z(I)=0.
1885  100    CONTINUE
1886      SX=X0
1887      SY=Y0
1888  C
1889  22    L=L+1
1890      T=T+H
1891      CALL RPCNT(T,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),DC,RV,IEND)
1892      IF(IEND.EQ.1) GO TO 30
1893      CALL STEER(DC,D1,D2,Q1)
1894      D1=D2
1895  C      /
1896      DO 210 M=1,4
1897      W(M)=H*HYDF(M,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),Y(5),Y(6),D1,RV)
1898      X(M)=0.5*(W(M)-2.*Z(M))
1899      Y(M)=Y(M)+X(M)
1900      Z(M)=Z(M)+3.*X(M)-0.5*W(M)
1901  210    CONTINUE
1902  C      /
1903      DO 220 M=1,4
1904      W(M)=H*HYDF(M,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),Y(5),Y(6),D1,RV)
1905      X(M)=CR2N*(W(M)-Z(M))
1906      Y(M)=Y(M)+X(M)
1907      Z(M)=Z(M)+3.*X(M)-CR2N*W(M)
1908  220    CONTINUE
1909  C      /
1910      DO 230 M=1,4
1911      W(M)=H*HYDF(M,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),Y(5),Y(6),D1,RV)
1912      X(M)=CR2P*(W(M)-Z(M))
1913      Y(M)=Y(M)+X(M)
1914      Z(M)=Z(M)+3.*X(M)-CR2P*W(M)

```

```

1915      230    CONTINUE
1916 C      /
1917      DO 240 M=1,4
1918      W(M)=H*HYDF(M,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),Y(5),Y(6),D1,RV)
1919      X(M)=C6*(W(M)-2.*Z(M))
1920      Y(M)=Y(M)+X(M)
1921      Z(M)=Z(M)+3.*X(M)-0.5*W(M)
1922      240    CONTINUE
1923 C      /
1924      IF(L.LT.LL) GO TO 22
1925      N=N+1
1926      LL=N*KDT+1
1927 C
1928      RD(N)=HYDF(3,Y(1),Y(2),Y(3),Y(4),Y(5),Y(6),D1,RV)*DEG
1929      U=Y(1)
1930      V=Y(2)+XG*Y(3)
1931      US(N)=SQRT(U*U+V*V)
1932      BT(N)=-ATAN2(V,U)*DEG
1933      R(N)=Y(3)*DEG
1934      P(N)=Y(4)*DEG
1935      D(N)=D1
1936      PR=(PFA-P(N))/DEG
1937      UF=UFA*COS(PR)
1938      VF=UFA*SIN(PR)
1939      URE=U+UF
1940      VRE=V+VF
1941      C=COS(Y(4))
1942      S=SIN(Y(4))
1943      U1=URE*C
1944      U2=URE*S
1945      V1=VRE*C
1946      V2=VRE*S
1947      SX=SX+(U1-V2)*DT
1948      SY=SY+(U2+V1)*DT
1949      XL(N)=SX/SL
1950      YL(N)=SY/SL
1951      TH(N)=Y(5)
1952      FN(N)=Y(6)
1953 C
1954      IF(N.GE.NDATA) GO TO 24
1955      GO TO 22
1956      24    IEND=1
1957      NST=NST-1
1958 C
1959      30    IF(NST.EQ.0) GO TO 50
1960      IF(MODE.EQ.5.OR.MODE.EQ.6) GO TO 50
1961      WRITE(6,6000) NDATA,N,H,DT,NST
1962      6000  FORMAT(/10X,'* SUBR. RKG01 EXECUTION MESSAGE */20X,
1963      1      'SAMPLE SIZE (PLAN,ACTUAL) --',2I7/20X,'INTERVAL TIME ',
1964      2      '(CALC,SAMP) --',2F10.3/20X,'STEERING TIMES',12X,'--',I5)
1965      PAUSE
1966      50    NDATA=N
1967      RV0=RV
1968      RETURN
1969      END
1970
1971
1972      FUNCTION HYDF(M,U,V,R,P,T1,FN,D,RV)
1973 C
1974 C      CALCULATION OF HYDRODYNAMIC FORCES
1975 C
1976      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
1977      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
1978      COMMON /CM04/E(10),F(2,10),G(2,10),XTR,BXV,DMXG,NL,IESTM
1979      COMMON /CM05/PK(5),PQ(5),TD(10),WK(10),EPS,RKP,CRP
1980      COMMON /CM06/SC(10),AH(5),XH(5),DA(5)

```



```

1981 C
1982 F3(A)=F(1,3)+F(2,3)/A
1983 F4(A)=F(1,4)+F(2,4)/A
1984 F5(A)=F(1,5)+F(2,5)/A
1985 F6(A)=F(1,6)+F(2,6)/A
1986 F7(A)=F(1,7)+F(2,7)/A
1987 F8(A)=F(1,8)+F(2,8)/A
1988 F9(A)=F(1,9)+F(2,9)/A
1989 G3(A)=G(1,3)+G(2,3)/A
1990 G4(A)=G(1,4)+G(2,4)/A
1991 G5(A)=G(1,5)+G(2,5)/A
1992 G6(A)=G(1,6)+G(2,6)/A
1993 G7(A)=G(1,7)+G(2,7)/A
1994 G8(A)=G(1,8)+G(2,8)/A
1995 G9(A)=G(1,9)+G(2,9)/A
1996 C
1997 IF(M.EQ.4) GO TO 4
1998 C
1999 F1=F(1,1)*RL3
2000 F2=F(1,2)*RL4
2001 G1=G(1,1)*RL4
2002 G2=G(1,2)*RL5
2003 C
2004 CT=RD4*RV*RV
2005 US=SQRT(U*U+V*V)
2006 ADV=RV*PD
2007 IF(ADV.EQ.0.) ADV=1.0E-5
2008 RJS=US/ADV
2009 IF(RJS.EQ.0.) RJS=1.E-2
2010 C
2011 CALL WINDF(U,V,P,SL,DEG,EWND,FWND,GWND)
2012 C
2013 CALL FNTR01(1,U,V,R,US,D,RJS,ADV,T1,T2,FN,CT,FPRP,GPRP,IESTM)
2014 CALL FNTR01(2,U,V,R,US,D,RJS,ADV,T1,T2,FN,CT,FPRP,GPRP,IESTM)
2015 C
2016 CALL AHXH(RJS,XR,AH,XH,CAH,CXH)
2017 C
2018 WPO=WK(2)+WK(3)/RJS
2019 A=RJS
2020 V1=V/US
2021 R1=R*SL/US
2022 AV=ABS(V1)
2023 AR=ABS(R1)
2024 IF(NL.EQ.3) AV=V1*V1
2025 IF(NL.EQ.3) AR=R1*R1
2026 SD=SIN(D/DEG)
2027 CD=COS(D/DEG)
2028 C
2029 EV=E(3)*V*V
2030 EV=EV+E(6)*V**4/US**2
2031 IF(BXV.EQ.0.) GO TO 10
2032 EV=E(3)*V*V
2033 IF(ABS(V1).LT.BXV) GO TO 10
2034 EV=E(7)*V*V+E(6)*ABS(V)*US
2035 10 CONTINUE
2036 C*** X FORCE
2037 Q1= E(2)*V*R + EV + E(4)*R*R + E(5)*U*U + FN*SD*XTR + T2
2038 * +EWND
2039 C*** Y FORCE
2040 Q2=(F3(A)*V1 + F4(A)*R1 + F5(A)*V1*AV + F6(A)*R1**3
2041 * +F7(A)*V1*AR + F8(A)*R1*AV*AV+F9(A)*AV**4*R1)*RL2*US*US
2042 * +FWND + FPRP +FN*CD*CAH-E(1)*U*R
2043 C*** N MOMENT
2044 Q3=(G3(A)*V1 + G4(A)*R1 + G5(A)*V1*AV + G6(A)*R1**3
2045 * +G7(A)*V1*AR + G8(A)*R1*AV*AV+G9(A)*V1**5)*RL3*US*US
2046 * -DMXG*RL4*U*R + FN*CD*CXH

```

```

2047      *      +GWND + GPRP
2048 C
2049      B=F1*G2-F2*G1
2050      GO TO (1,2,3),M
2051 C
2052      1  HYDF=Q1/E(1)
2053      RETURN
2054 C
2055      2  HYDF=(G2*Q2-F2*Q3)/B
2056      RETURN
2057 C
2058      3  HYDF=(F1*Q3-G1*Q2)/B
2059      RETURN
2060 C
2061      4  HYDF=R
2062      RETURN
2063 C
2064      END
2065
2066
2067      SUBROUTINE FNTR01(M,U,V,R,US,D,RJS,ADV,T1,T2,FN,CT,PRY,PRN,IES)
2068 C
2069      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
2070      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
2071      COMMON /CM05/PK(5),PQ(5),TD(10),WK(10),EPS,RKP,CRP
2072      COMMON /CM06/SC(10),AH(5),XH(5),DA(5)
2073 C
2074      FRP=CRP
2075      FJS=RJS
2076      IF(FJS.LT.100.) FRP=0.
2077 C
2078      UP=WAKE(V,R,US,FJS,WK,SL)*U
2079      RJ=UP/ADV
2080      RKT=PK(1)+(PK(2)+PK(3)*RJ)*RJ
2081      SLIP=1.-RJ*PD/PCH
2082      IF(RJ.EQ.0.) RJ=1.0E-3
2083 C
2084      GO TO (1,2),M
2085 C
2086      1  TDF=TDFACT(FJS,TD)
2087      RP=FRP*UP*UP
2088      T1=CT*RKT+RP
2089      T2=TDF*T1
2090      IF(RP.NE.0.) T2=T1
2091 C
2092      PRY=0.
2093      PRN=0.
2094      IF(IES.EQ.0) RETURN
2095      RAP=RD4*3.14159/8./PD/PD
2096      CCT=T1/RAP/UP/UP
2097      QG=GAMMAR(FJS)
2098      BTP=-QG*(V+SC(1)*SL*R)/UP
2099      PRY=T1*BTP/SQRT(1.+CCT)
2100      PRN=XP*PRY
2101      RETURN
2102 C
2103      2  CONTINUE
2104      UR=URFLW(UP,EPS,RKP,RKT,RJ,ADV,FJS,PCH,PD,PDH)
2105      DM=DELT(M,US,V,R,UR,FJS,SL,DEG,SC)
2106      D0=DA(1)+DA(2)*FJS
2107      D0=DA(1)+DA(2)*SLIP
2108      ALPH=(-D+D0-DM)/DEG
2109      URF=UR/COS((D0-DM)/DEG)
2110      FN=RAR*FA*ALPH*URF*URF
2111      RETURN
2112 C

```

```

2113      END
2114
2115
2116      SUBROUTINE CHNGE ( X,Y,D,XC,YC )
2117 C
2118      D=D*3.14159/180.
2119      XC=X*COS(D)-Y*SIN(D)
2120      YC=Y*COS(D)+X*SIN(D)
2121 C
2122      RETURN
2123      END
2124
2125
2126      SUBROUTINE WINDCL
2127 C
2128 C      COURSE KEEPING ON WIND
2129 C
2130      COMMON /CM01/SL,DRF,PD,PCH,FA,XG,XP,XR,DMAS,DIZ,PDH
2131      COMMON /CM02/H,DT,DDMX,DTE,KDT
2132      COMMON /CM03/RL2,RL3,RL4,RL5,RAR,RD4,DEG
2133      COMMON /CM04/E(10),F(2,10),G(2,10),XTR,BXV,DMXG,NL,IESTM
2134      COMMON /CM05/PK(5),PQ(5),TD(10),WK(10),EPS,RKP,CRP
2135      COMMON /CM06/SC(10),AH(5),XH(5),DA(5)
2136      COMMON /CM07/NDATA,MODE,IOUT,ISP,IST,ISAMP,IPR,IPC,IANL,NST,NPR
2137      COMMON /CM08/DUP,DLW,CUP,CLW,DTN
2138      COMMON /CM09/RV0,D0,US0,BET0,R0,P0,X0,Y0,T0,TQ0,DHP0
2139      COMMON /CM11/TR(30),DST(30),NTRP(5),TP(5),REV(5)
2140      COMMON /CM15/SAX,SAY,RHOA,CRA(20),CNA(20),ALPHA(20),
2141 *          UAA,PAA,UFA,PFA
2142 C
2143      M=0
2144      2   M=M+1
2145      K=0
2146      1   K=K+1
2147      IF(K.GE.9) GO TO 2
2148      IF(M.GE.4) GO TO 800
2149      UF=US0
2150      V=0.0
2151 C
2152      D=-5.0-10.0*FLOAT(M)
2153      PA=20.0*FLOAT(K)
2154      APA=ABS(PA)
2155      J=JNT(APA/10.0)+1
2156      IF(J.EQ.19) J=18
2157      DD=(APA-FLOAT(J-1)*10.0)/10.0
2158      CR=CRA(J)+(CRA(J+1)-CRA(J))*DD
2159      CN=CNA(J)+(CNA(J+1)-CNA(J))*DD
2160      AL=ALPHA(J)+(ALPHA(J+1)-ALPHA(J))*DD
2161      IF(PA.GT.0.0) GO TO 10
2162      CN=-CN
2163      AL=-AL
2164      10  SS=SAX*COS(PA/DEG)**2+SAY*SIN(PA/DEG)**2
2165      CYW=-RHOA*SS*CR*SIN(AL/DEG)/2.0
2166      CNW=-RHOA*SAY*SL*CN
2167      CXW=-RHOA*SS*CR*COS(AL/DEG)/2.0
2168 C
2169      JJ=1
2170      130 CONTINUE
2171      DO 100 KK=1,100
2172 C      T=T0+H
2173 C      CALL RPCNT(T,UF,V,0.0,0.0,DC,RV,IEND)
2174      RV=1.94
2175      US=SQRT(UF*UF+V*V)
2176 C
2177      F3=F(1,3)*RL2*US
2178      F5=F(1,5)*RL2/US

```



```

2179      G3=G(1,3)*RL3*US
2180      G5=G(1,5)*RL3/US
2181 C
2182      C1=F5*CNW-G5*CYW
2183      C2=F3*CNW-G3*CYW
2184 C
2185      ADV=RV*PD
2186      IF(ADV.EQ.0.) ADV=1.0E-5
2187      RJS=US/ADV
2188      IF(RJS.EQ.0) RJS=1.0E-2
2189      CALL AHXH(RJS,XR,AH,XH,CAH,CXH)
2190      CAH=CAH*COS(D/DEG)
2191      CXH=CXH*COS(D/DEG)
2192      C3=CAH*CNW-CXH*CYW
2193 C
2194 C      NEWTON METHOD
2195 C
2196      UP=WAKE(V,0.0,US,RJS,WK,SL)*UF
2197      RJ=UP/ADV
2198      RKT=PK(1)+(PK(2)+PK(3)*RJ)*RJ
2199      UR=URFLW(UP,EPS,RKP,RKT,RJ,ADV,RJS,PCH,PD,PDH)
2200      DM=DELT(US,V,0.0,UR,RJS,SL,DEG,SC)
2201      D0=DA(1)+DA(2)*RJS
2202      ALPH=(D-D0+DM)/DEG
2203      URF=UR/COS((D0-DM)/DEG)
2204      FN=-RAR*FA*URF*URF*SIN(ALPH)
2205 C
2206      P=C1*V*V*V+C2*V+C3*FN
2207 C
2208      VR=-SC(2)*V
2209      DFNDV=-RAR*FA*(-SC(2))*(2.0*VR*SIN(ALPH)+URF*URF*COS(ALPH)/UR)
2210 C
2211      Q=3.0*C1*V*V*V+C2+C3*DFNDV
2212 C
2213      DV=-P/Q
2214      V=V+DV
2215      IF(ABS(DV).LT.1.0E-6) GO TO 110
2216 100      CONTINUE
2217 C
2218 110      UW2=(F3*V+F5*V*V*V+CAH*FN)/(-CYW)
2219      IF(UW2.LT.0.0) UW2=0.0
2220 C      UW=SQRT(UW2)
2221 C
2222      FRP=CRP
2223      IF(RJS.LT.100.0) FRP=0.0
2224      TDF=TDFACT(FJS,TD)
2225      RP=FRP*UP*UP
2226      CT=RD4*RV*RV
2227      T1=CT*RKT+RP
2228      T2=TDF*T1
2229 C
2230      U2=(E(3)*V*V+XTR*SIN(D/DEG)*FN+CXW*UW2+T2)/(-E(5))
2231      IF(U2.LT.0.0) U2=0.0
2232      U=SQRT(U2)
2233 C
2234 C      PX=E(5)*UF*UF+E(3)*V*V+XTR*SIN(D/DEG)*FN+CXW*UW2+T2
2235 C      WKS=WAKE(V,0.0,US,RJS,WK,SL)
2236 C      QX=2.0*E(5)*UF-RAR*FA*UR*SIN(ALPH)*EPS*0.65*2.0
2237 C
2238 C      DUF=-PX/QX
2239 C      UF=UF+DUF
2240 C      WRITE(6,6) UF,V,UW,UR,UP,PX,RJS,FN
2241 C 6      FORMAT(/,30X,'CHECK2 ***',4(3X,E15.7)/,30X,4(3X,E15.7))
2242 C      IF(ABS(DUF).LT.1.0E-6) GO TO 120
2243 C
2244      DU=ABS(U-UF)

```

```

2245      IF(DU.LT.1.0E-4) GO TO 120
2246      UF=U
2247      JJ=JJ+1
2248      IF(JJ.GE.100) GO TO 777
2249      GO TO 130
2250 C
2251      120      UW=SQRT(UW2)
2252      WPU=UW/US
2253      WRITE(6,600) D,PA,U,V,US,UW,WPU
2254      600      FORMAT(////,10X,'DELT = ',F4.1,' (DEG)',10X,
2255      *          'RELATIVE WIND DIRECTION = ',F5.1,' (DEG)'//
2256      *          10X,'U = ',F4.1,' (M/S)',10X,'V = ',F4.1,' (M/S)',10X,
2257      *          'SHIP SPEED = ',F4.1,' (M/S)'//,
2258      *          10X,'RELATIVE WIND VEL. = ',F4.1,' (M/S)',5X,
2259      *          'UW/US = ',E15.7//)
2260 C
2261      GO TO 1
2262 C
2263      777      WRITE(6,610)
2264      610      FORMAT(////,30X,'*** ENDLES ***')
2265 C
2266      800      RETURN
2267      END
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294

```